

中國醫藥大學

碩士論文

編號：IEH-1701

中部科學園區附近地區室內、外懸浮微粒
及居民尿液中重金屬之分析

Analysis of the heavy metals in indoor/ outdoor
particle and urine of residential people in the
vicinity of the Central Taiwan Science Park

所 別：環境醫學研究所

指導教授：郭憲文 教授

吳聰能 教授

學 生：劉祖恩 Liu Tsu En

學 號：9465001

中華民國 九十六 年 六 月

摘要

近年來，政府積極推動台灣地區高科技產業發展，其中在中部開發科學園區已有三年時間，由於台中科學工業園區(以下簡稱中科)已引進光電、半導體及精密機械等高科技產品，在製程中使用之各種重金屬元素或其化合物，排放後可能成為環境的污染源，散佈在一般環境中的空氣、水及土壤中，使附近居民經由各接觸途徑如食入、吸入及皮膚接觸，可能會造成其健康急性或慢性的影響，此問題正是社會大眾所關心重要的議題。

本研究的目的是利用空氣監測與生物偵測，以瞭解中科排放重金屬對附近居民的影響。共收集中科附近居民在 94 年有 245 位、96 年有 182 位之問卷資料與尿液檢體，另選擇台中縣新社鄉 79 位居民當作為對照組。並檢測中科園區附近住家室內、外空氣中懸浮微粒之重金屬濃度，共計 15 次住家環境採樣和 34 名住戶民眾之尿液檢體。空氣與尿液樣品之重金屬分析皆以感應式偶合電漿質譜儀(ICP-MS)分析，偵測砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、硒及鋅九種重金屬，所有的分析過程皆在嚴格的品保品管下進行。

結果顯示在中科附近居民與對照組居民尿中重金屬除鎘與鉛元素外，其餘重金屬濃度皆有顯著性之差異($p < 0.05$)，若細分中科北區、南區與對照組，經校正性別、年齡、抽菸、二手菸暴露、住家臨近大馬路、

使用空氣清淨機與拜香等干擾因子後，在居民尿中硒濃度在三個地區皆有顯著性差異，但鎘與銅元素皆無顯著差異。比較 94 年與 96 年中科附近居民尿液中九種重金屬濃度，除鎘與鉛兩重金屬未有顯著差異外，其餘重金屬濃度在中科開發前後皆有顯著性差異($p < 0.05$)，調整中科北區南區、性別、年齡、抽菸、二手菸暴露、住家臨近大馬路、使用空氣清淨機與拜香等因子後，除尿中鎳濃度改變為統計邊緣值($p = 0.06$)外，其餘結果皆與未調整前相同。在住家採樣方面僅有室內空氣中鎘與尿中鎘濃度有顯著性相關($r = 0.521$)，其餘重金屬濃度在空氣與尿中皆無顯著性相關。若以美國 NHANES III 之參考值為標準，將對照組為參考族群，計算 96 年中科北區、南區民眾尿中重金屬濃度之風險對比值，校正其他干擾因子後，顯示在尿中砷、鉻及鎳濃度，中科北區與南區顯著性大於對照組地區族群，其中，中科北區居民尿中砷超過參考值標準的風險為對照組 3.4 倍、南區為對照組 2.6 倍。

本研究已建立了中科附近居民尿液中重金屬基本背景資料，並將中科與其他非工業地區居民尿液中重金屬做分析比較，亦進一步探討中科開發前後附近居民尿液中重金屬濃度之差異，可作為未來中科園區工廠改善重金屬排放參考的依據。

關鍵字：中部科學園區、尿液、重金屬、ICP-MS、生物偵測

Impact of heavy metals by indoor air analysis and biological monitoring on the residents living in the vicinity of the Central Taiwan Science Park

Abstract

In recent years, the government has promoted the Green Silicon Island Policy, and has been developing the Central Taiwan Science Park (CTSP) in Taichung for the past three years. The CTSP has already introduced some products, such as optoelectronics, semiconductors, and precision machinery. Various heavy metals and chemicals that are used in the production process and subsequently discharged into the atmosphere might cause pollution after dispersing into the general environment (air, water and soil). Exposure to these pollutants by the residents living in the vicinity of the CTSP may lead to acute or chronic adverse health effects through gastrointestinal, respiratory or skin absorption. This is a pressing health concern and therefore merits the establishment of pollutant level baseline data in order to determine future causal relationships regarding their health effects.

The objective of this study is to understand the impact of heavy metals on the residents living in the vicinity of the CTSP by air analysis and biological monitoring. The study participants consisted of 427 people residing in the vicinity of the CTSP (245 in 2005 and 182 in 2007) and a control group of 79 rural residents. The levels of indoor and outdoor heavy metals in 5 houses were analyzed and 34 urine samples were simultaneously collected from the members of the five households. All samples are analyzed by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). The elements included arsenic, cadmium, chromium, copper, mercury, nickel, lead, selenium and zinc. All analyses were performed under strict quality control procedures.

Using multivariate regression, the concentration of arsenic, chromium, mercury, selenium and zinc in the urine of residents living in the vicinity of the CTSP in 2007 were significantly higher than residents living in the vicinity of the CTSP in 2005 and the control group. Of the heavy metals found in the household environments, only cadmium in the indoor air and urine correlated significantly ($r=0.52$)

Multivariate logistic regression analysis showed that the urinary levels of arsenic, chromium and nickel exceeded the USA NHANES III reference for residents in the vicinity of the CTSP in 2007. The urinary arsenic levels of the subjects living in the northern and southern vicinities of the CTSP had odds ratios 3.4 times (95% confidence interval, 1.2-8.9) and 2.6 times (95% CI, 1.2-5.6) higher, respectively, than those of the control group. The background (reference) data of heavy metals in residents' urine near the CTSP had already been established. The concentrations of arsenic, chromium, mercury, selenium and zinc found in the urine of residents living in the vicinity of the CTSP in 2007 were higher than both those found in the control group and the CTSP group that was analyzed in 2005. These results may be related to heavy metal emissions from the CTSP, however other sources of heavy metals in the vicinity of the CTSP cannot be ruled out.

Key word: Central Taiwan Science Park , urine , heavy metals , ICP-MS , biological monitoring

目 錄

中文摘要	i
英文摘要	iii
目 錄	v
表目錄	ix
圖目錄	viii
附錄目錄	xiii
第一章 緒論	
第一節 研究背景及動機	1
第二節 研究目的	3
第二章 文獻探討	
第一節 常見重金屬之特性與環境流佈	4
第二節 常見重金屬對人體之毒性	7
第三節 重金屬生物偵測之特性	11

第四節	生物偵測之影響因素-----	14
-----	----------------	----

第五節	中部科學園區可能之重金屬污染-----	16
-----	---------------------	----

第三章 研究方法與材料

第一節	研究架構-----	21
-----	-----------	----

第二節	研究對象-----	22
-----	-----------	----

第三節	研究方法與工具-----	24
-----	--------------	----

第四節	實驗儀器與藥品-----	27
-----	--------------	----

第五節	重金屬分析之品保品管(QA/QC)步驟-----	30
-----	--------------------------	----

第六節	資料整理與統計分析-----	34
-----	----------------	----

第四章、結果

第一節	94 與 96 年中科附近居民尿中重金屬濃度之背景資料--	35
-----	-------------------------------	----

第二節	96 年中科居民與對照組尿液中重金屬濃度之橫斷性研究 -----	35
-----	-------------------------------------	----

第三節	中科居民尿中重金屬濃度 94 與 96 年間之比較-----	37
-----	--------------------------------	----

第四節	以複迴歸分析比較地區別與中科園區開發前、後居民尿中 重金屬濃度差異-----	38
第五節	住家空氣中懸浮微粒重金屬之因素分析-----	39
第六節	住家空氣中懸浮微粒與其居民生物檢體重金屬濃度之相 關性-----	40
第七節	尿中重金屬濃度與各國參考值之比較-----	41

第五章、討論

第一節	樣本代表性-----	43
第二節	尿液重金屬濃度之影響因子-----	45
第三節	中科園區對附近居民尿中重金屬濃度的影響-----	47
第四節	尿液重金屬濃度與國內外研究之比較-----	49
第五節	研究限制與未來方向-----	53

第六章、結論與建議

第一節	結論-----	55
第二節	建議-----	56



表目錄

表 1. 中科附近居民尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之分佈-----	63
表 2. 中科與對照組居民尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之比較----	63
表 3. 中科周遭戶外空氣(ng/m^3)與尿中($\mu\text{g/g cre.}$)重金屬濃度之 分佈-----	64
表 4. 中科北區、南區與對照組居民尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$) 之比較-----	64
表 5. 中科居民 94 年與 96 年尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之比較 -----	65
表 6. 在中科北區與南區居民在 94 及 96 年尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g}$ cre.)之比較-----	65
表 7. 94 及 96 年在 中科北區與南區居民尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$) 之比較-----	66
表 8. 96 年中科北區、南區與對照組居民尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$) 之複迴歸之分析比較-----	67
表 9. 中科附近居民 94 年與 96 年尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之複 迴歸分析-----	68

表 10. 住家空氣PM ₁₀ 中各元素之因素分析-----	69
表 11. 住家空氣PM _{2.5} 中各元素之因素分析-----	69
表 12. 住家空氣中與住戶居民尿中重金屬濃度經對數(log)轉換之 相關性-----	70
表 13. 住家空氣PM ₁₀ 中(ng/m^3)與住戶居民尿中($\mu\text{g}/\text{g cre.}$)重金屬 濃度之分佈-----	70
表 14. 94、96 年中科居民尿中重金屬 90%與 95%濃度值與各參考濃 度之比較($\mu\text{g}/\text{g cre.}$)-----	71
表 15. 96 年中科北區、南區與對照組居民尿中重金屬濃度超過 NHANES III 參考值之對比值與其 95%信賴區間-----	71

圖目錄

圖 1.	2005/3/22 之風花圖	72
圖 2.	2005/4/29 之風花圖	72
圖 3.	2005/5/31 之風花圖	72
圖 4.	2005/6/28 之風花圖	72
圖 5.	2005/7/28 之風花圖	73
圖 6.	2005/8/30 之風花圖	73
圖 7.	2005/9/30 之風花圖	73
圖 8.	中科附近採樣點相關位置圖	74
圖 9.	中科與對照組居民尿中砷濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之累積分佈圖	75
圖 10.	中科與對照組居民尿中鎘濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之累積分佈圖	75
圖 11.	中科與對照組居民尿中鉻濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之累積分佈圖	76
圖 12.	中科與對照組居民尿中銅濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之累積分佈圖	76
圖 13.	中科與對照組居民尿中汞濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之累積分佈圖	77
圖 14.	中科與對照組居民尿中鎳濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之累積分佈圖	77

- 圖 15. 中科與對照組居民尿中鉛濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之累積分佈圖-78
- 圖 16. 中科與對照組居民尿中硒濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之累積分佈圖-78
- 圖 17. 中科與對照組居民尿中鋅濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之累積分佈圖-79
- 圖 18. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中砷濃度之差異-----79
- 圖 19. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中鎘濃度之差異-----80
- 圖 20. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中鉻濃度之差異-----80
- 圖 21. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中銅濃度之差異-----81
- 圖 22. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中汞濃度之差異-----81
- 圖 23. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中鎳濃度之差異-----82
- 圖 24. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中鉛濃度之差異-----82
- 圖 25. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中硒濃度之差異-----83
- 圖 26. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中鋅濃度之差異-----83

附錄

附錄 1	ICP-MS 儀器條件-----	84
附錄 2	尿液分析之檢量線與偵測極限結果-----	85
附錄 3	砷之檢量線確認品管圖-----	85
附錄 4	鎘之檢量線確認品管圖-----	86
附錄 5	鉻之檢量線確認品管圖-----	86
附錄 6	銅之檢量線確認品管圖-----	87
附錄 7	汞之檢量線確認品管圖-----	87
附錄 8	鎳之檢量線確認品管圖-----	88
附錄 9	鉛之檢量線確認品管圖-----	88
附錄 10	硒之檢量線確認品管圖-----	89
附錄 11	鋅之檢量線確認品管圖-----	89
附錄 12.	尿液分析之穩定度確認-----	90
附錄 13	砷之二重覆品管圖-----	91
附錄 14	鎘之二重覆品管圖-----	91
附錄 15	銅之二重覆品管圖-----	92

附錄 16	鎳之二重覆品管圖-----	92
附錄 17	鉛之二重覆品管圖-----	93
附錄 18	硒之二重覆品管圖-----	93
附錄 19	鋅之二重覆品管圖-----	94
附錄 20	尿液查核樣品分析結果-----	94
附錄 21	尿液添加樣品分析結果-----	95



第一章 緒論

第一節 研究背景與研究動機

近年來，政府積極推動台灣地區高科技產業發展，其中在中部開發科學園區(以下簡稱中科)已有三年時間，分為台中縣市之台中園區與雲林縣之虎尾園區，前者位於台中縣大雅鄉、台中市西屯區交界處，面積為413公頃，目前中科園區已引進光電、半導體及精密機械等各種高科技產品，本研究主要以台中園區為研究範圍。

中科園區在民國94年10月前僅有光電產業，營業額從1月的3億元快速成長至12月已達100億元，而其他產業從10月開始營運至12月當月營業額為1.8億，截至95年8月中科累計營業額為1,600億元，83家廠商，約1萬5千名員工，成長快速。⁽¹⁾

由因中科製程中會使用到各種重金屬元素或其化合物，排放後可能成為環境的污染源，散佈在附近環境的空氣、水及土壤中，使附近居民可能會經由各接觸途徑如食入、吸入及皮膚接觸，造成其健康急性或慢性的影響，此問題正是社會大眾所關心的重要議題。

國內由於科技與工業的快速發展，已造成相當程度的環境污染問題。某些污染物質在環境中可能因累積作用，而造成對生態系統(Ecological system)的破壞，而檢測尿中重金屬可當做一項重要的暴露與健康影響的

指標。過去國內針對半導體產業所做的研究大多著重在砷元素，較少分析其他多種重金屬。因此，本研究針對中科附近居民尿中砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、硒及鋅等九種元素加以分析，作為科學園區或工業區開發前、後可能對附近環境之影響。

因此，本研究為探討中科產業對其附近居民體內重金屬之影響，利用中科附近居民與對照組地區居民尿中重金屬濃度之比較、中科開發前後附近居民尿中重金屬濃度之比較，並探討住家空氣中懸浮微粒重金屬濃度與尿中重金屬濃度的關係，希望未來可作為中科園區排放重金屬對附近居民影響的參考資料。



第二節 研究目的

1. 建立中科園區附近一般民眾尿中重金屬砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、硒及鋅之基本背景資料。
2. 比較中科附近居民與對照組地區居民尿中九種重金屬濃度之差異。
3. 比較中科園區開發前後中科附近居民尿中各重金屬濃度之差異。
4. 評估中科園區兩個地區戶外空氣懸浮微粒中重金屬與其居民尿中重金屬之關聯性。
5. 了解中科園區附近住家室內、外空氣懸浮微粒中元素與居民尿中元素之相關性，並評估來自中科園區工廠排放各種元素之可能性。
6. 以超過美國 NHANES III 制定各種尿中重金屬參考值之偏高比例為基準，計算 96 年中科北區、南區民眾與對照組居民尿中濃度超過此參考值之風險比。
7. 可作為相關環保單位及主管機關管理中科園區各重金屬排放的參考依據。

第二章 文獻探討

第一節 常見重金屬之特性與環境流佈

自然界中約有上百種的元素，依其來源可分為兩類：一為自然產生，另為人類活動所產生。依其對人體的功用亦可分成兩類：必需元素及非必需元素，所謂必需元素乃人體所必需者，人體不能自行合成，需不斷從食物中攝取獲得，若人體含量不足時，將會造成生理代謝機制的失衡，嚴重時更會引起各種疾病。非必需元素則是對人體沒有生物的功用，例如重金屬元素，由於它具有不被生物分解的特性，可經由環境累積於人體體內，當累積過量時，就會引起人體中毒。但一個重金屬元素對人體是屬於毒性、良性或必需性，除須檢視該元素的濃度高低外，尚需考量其所存在的化學型態^(2、3)。以下昭述常見工業污染之重金屬特性：

砷原子序為 33，質量數為 75，是為自然存在的類金屬元素，在環境中主要為無機態，空氣中的砷含量係來自附著於懸浮微粒的三氧化二砷，台灣土壤中砷之平均含量為 4.27mg/kg，地下水體有發現超過 1000 μ g/L 者，食物中海產類較多；主要用途為半導體製造業(主要物質為砷化銦與砷化鎵)、玻璃製造、製藥與農藥。^(4、5)

鎘原子序為 48，質量數為 114，鎘化學性質與鋅相似，並與鋅、鉛天然存於硫化礦物中。由吸入引起的健康危害大多發生於鎘污染作業場所，

主要用途為塑膠加工安定劑、電鍍、合金、半導體、油漆顏料與電池，一般未污染地區則是以吸菸為主要污染來源。^(4,6,7)

鉻原子序為 24，質量數為 52，鉻在自然界中有金屬態、三價與六價，主要以三價鉻存於礦物中；金屬鉻主要被用於製鋼與合金的材料，鉻化合物(三價與六價)主要為化學工廠製造，用途為電鍍、顏料、製革、玻璃、陶瓷加工、製藥之催化劑等。⁽⁸⁾

銅原子序為 29，質量數為 63，為帶紅色的金屬，地殼中平均濃度為 50ppm，亦常存在於合金之中(黃銅、青銅)。銅可輕易被鑄造與造型，主要來源為工業(銅合金)與化工(硫酸銅)，常用於電線、電鍍、顏料、電器、冶金、建材、農藥、金屬製品等。^(4,8)

汞原子序為 80，質量數為 202，是一種具有金屬光澤、銀白色的液體，在室溫下，部分會揮發形成汞蒸氣，在自然界中以幾種形態存在：金屬汞、硫化汞、氯化汞與甲基汞。採礦所得為硫化汞(朱砂)，加熱礦石捕捉汞蒸氣精鍊成金屬汞，可用來生產氯氣與苛性鹼、溫度計、電池、燈管、補牙材料以及萃取金等。汞化合物常被用來當醫用殺菌劑和消毒劑，硫化汞與氧化汞亦被當作一種顏料。⁽⁸⁾

鎳原子序為 28，質量數為 58，為堅硬、銀白色的金屬，在地殼中常與其他元素自然存在，像鐵、銅、鉻、鋅等的合金，主要是與氧氣及硫結合為氧化鎳及硫化鎳。最常被用來製造不鏽鋼，主要來源為鎳合金及

其化合物的製造與使用、燃油、燃煤等，用途為金屬工業、電鍍、化工、電池及電子等。⁽⁸⁾

鉛原子序為82，質量數為208，主要用途為冶金、化工、電池、油漆、油品添加劑、塑膠安定劑及電子等，分佈非常廣泛，主要來源為1. 工業：鉛產品的製造和使用過程與採礦、冶煉中排放。2. 汽車排氣：汽油經過燃燒後的氧化鉛，是大氣中鉛的主要污染源。由於無鉛汽油的推行使用，使空氣中的鉛污染問題逐漸的受到控制、下降。^(9、10)

硒原子序為34，質量數為80，在地殼中分佈很廣但不均衡，金屬態為灰黑色六角形，但不常見，常與硫、銀、鉛、銅、鎳礦結合，硒在環境中一般以各種不同的氧化態形式存在，無機硒通常以硒酸鹽及亞硒酸鹽的型態存在於水及土壤中，植物易從水中吸收硒化合物。硒主要人為來源為燃煤，用途為攝影材料(因硒具有半導體與光電效應的特性)、塑膠、塗料、抗屑洗髮精與營養添加劑等。^(2、8)

鋅原子序為30，質量數為64，自然界中分佈廣泛，在空氣、土壤與水中皆可發現鋅的存在，金屬態為青白色的發光金屬，也可與氯、氧、硫結合成鋅化合物。人為來源有包括礦業、冶金、製鋼、燃燒煤礦及廢棄物，主要用途為合金、顏料、橡膠、製藥、電池及電鍍等。^(4、8)

第二節 常見重金屬對人體之毒性

砷為人體非必需元素，砷對生物之毒性因物種型態而異，毒性高低依序為亞砷酸、砷酸、有機砷。砷對人體的致死劑量為 125mg⁽¹¹⁾，無機砷中之亞砷酸鹽(AsO_2^-)被歸類於人體致癌物⁽⁴⁾，砷慢性中毒會引起皮膚病變、皮膚癌、膀胱癌、肺癌及肝癌等^(10、12)；主要暴露為攝取、飲水與吸入，約有 42-72% 實際攝取或吸入量由尿液排除。

鎘主要經由呼吸及飲食進入人體，其中以經由飲食與香菸之暴露量較大⁽⁸⁾。鎘主要累積於人體之腎臟中，其生物半衰期在10年以上，尿中鎘與腎中鎘有顯注相關；鎘之慢性危害為其能累積於腎皮層，而近端腎小管則是主要的作用位置，造成破壞腎小管之作用⁽⁹⁾，使得蛋白質、胺基酸及醣類之吸收不良，引發糖尿、蛋白尿等症狀⁽¹³⁾，亦會干擾人體鈣及鐵之吸收功能，產生軟骨症與骨質疏鬆症或所謂的「痛痛病」；國際癌症研究中心(International Agency for Research on Cancer)將鎘列為第一級致癌物⁽¹⁴⁾，氧化鎘會阻礙DNA複製，造成DNA 聚合酶(polymerase)的功能降低，影響DNA 的合成與修補，進而抑制整個RNA的合成，經由增加氧化壓力造成呼吸系統、睪丸細胞、肝臟細胞、免疫系統，導致細胞凋亡⁽¹⁵⁾。

三價鉻為人體必需元素，存在於生物體中，為活化insulin所必須，可幫助身體利用糖、蛋白質和脂肪，美國國家科學院建議成人每日攝取量為 50 至 200 微克的三價鉻，人體如缺鉻則會引發糖尿病、動脈硬化、

生長受阻及白內障等症狀^(4,8)；而六價鉻具高毒性⁽¹⁶⁾，其毒性為三價鉻之 10 至 100 倍，國際癌症研究中心認定六價鉻對人類有致癌性。且六價鉻會引起肝臟受損、皮膚發炎、潰瘍、鼻中隔穿孔、尿毒症肺癌、支氣管癌，甚至死亡。六價鉻亦較易進入人體，進入人體後會轉換為三價鉻，隨血液傳至全身，最後通過腎臟，並在幾天內由尿液排除。

銅為人體必需元素，其作用為鐵的同化及血紅素之合成，銅在健康人體中生物性半衰期為四星期，目前尚無慢性銅中毒之情形被報導⁽⁴⁾；長期暴露銅粉塵會刺激眼睛、鼻子和嘴巴，並造成頭痛、頭昏、噁心、腹瀉，喝下含高濃度銅的水會噁心、嘔吐、頭痛、胃痙攣，但如大量食入銅化物則可能引發溶血及肝、腎傷害等症狀。⁽⁸⁾

汞鹽、酚汞化合物及甲氧基汞化合物之急性或長期毒害症狀為胃腸及腎臟病變，汞大部分累積於人體腎臟與腦部，亦會造成胎兒的傷害，引起神經障礙如：顫抖、記憶力消失、失眠、改變行為及性格等⁽⁸⁾。汞蒸汽與甲基汞比汞鹽較易進入人體，也較易造成神經系統毒性，吸入汞蒸汽與食入甲基汞為人體暴露之主要途徑，當吸入汞蒸汽時，約有 80% 的汞會被吸收⁽¹⁷⁾，主要是由尿液及糞便排除。

鎳非人體必需元素，會刺激黏膜與皮膚，主要的健康影響為過敏，引起灼傷或發癢，和呼吸器官疾病，最嚴重的傷害為導致肺癌及鼻咽癌，國際癌症研究中心認為一些含鎳化合物為人類致癌物質，暴露來自金屬

與溶解態，儲存於呼吸系統，主要由尿液排除。^(4、8)

鉛不是人類或動物之必需元素，鉛進入人體之主要途徑為食物、吸入灰塵或直接食入土壤；由呼吸道進入人體之鉛中約 30% 為人體吸收，因嬰幼童之發育快速及營養需求較大，其吸收率會更高，進入人體之鉛 90% 殘留於骨骼中，其半衰期約 20 年，其餘殘留於血液、軟組織或快速轉入骨骼中，此部份鉛之半衰期約為 20 天，人體主要由尿液及糞便排出鉛。急性鉛中毒可引起腹痛。鉛為第一個被報導與流產有關之金屬⁽⁴⁾，進入人體之鉛極易穿透胎盤，影響人體生殖。鉛亦影響大腦，引起過動及人體控制肌肉細微動作之功能失調。兒童之神經系統對鉛特別敏感，由於兒童腦部血液與其腦器官間之間隔尚未發育完成，因而比一般大人更易累積鉛，阻礙智能之發展⁽¹⁸⁾。鉛亦影響人體代謝功能及造血系統，引起貧血及腎傷害。⁽¹⁹⁾

硒為必需元素，是酵素 glutathione 活化位置的一部份，對人體中的重金屬有解毒作用，亦是一種抗氧化劑，能破壞對人體有害的自由基，且近年來有研究發現硒有抗癌的效果，硒的營養價值、生物有效性、毒性和抗癌等功能被發現與其物種息息相關。就人體而言，有機硒化合物較無機硒易於被吸收，其被利用率亦較高，若人體中硒的含量過低，會引起青光眼、白內障、貧血、心臟病、癌症、心肌肥大症、充血性心臟衰竭等；若攝取過多的硒化合物，則會對人體產生危害，導致噁心、嘔

吐、食慾不振、頭髮與指甲脫落、容易疲勞等症狀，嚴重時可能導致腎衰竭或死亡。美國環保署已將硫化砷視為可能的人類致癌性物質，它也是唯一會引發動物癌症的砷化合物，通常大部分進入人體的砷會在2-4小時內排除，因此砷中毒較不易發生。砷主要由肺及腸胃吸收，累積於肝臟、腎臟、心臟、血液，約有 50% 會由尿液中排出。美國毒性物質及疾病登記署(Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR) 報導，在美國一般正常人的尿液砷含量為7-200ppb，砷在人體尿液中的濃度有很大的差異，其在人體內的代謝機制至今尚未被完全瞭解。然而從過去流行病學的研究中顯示，砷在人體營養與健康上均具有極重要地位。^(2、10、20、21)

鋅及鋅化合物對人體毒性極小，鋅為人體必需元素，擔任各種酵素反應、DNA、RNA及蛋白質合成之主要角色，若缺乏症狀為生長遲緩及成熟趨緩⁽²²⁾、免疫功能降低。一旦孕婦鋅攝取不足，則可能導致嬰兒的生長遲緩。若吸入大量的鋅時會造成短期疾病金屬燻煙熱，人體含鋅過量時會引起疲勞、關節炎、刺激黏膜及消化系統，長期食入高劑量的鋅則會產生貧血、胰臟損傷及高密度脂蛋白膽固醇降低。

第三節 重金屬生物偵測之特性

分佈於環境中的重金屬元素，會經由各接觸途徑如食入、吸入及皮膚接觸，而進入人體中，再經血液傳導至全身各器官，依元素之的物化性質，累積於不同臟器中，進而造成人體健康急性或慢性的影響。

一般環境監測是測量污染物存在於各環境介質(空氣、水及土壤)中的濃度，未必真能代表人體吸收的劑量，一般暴露偵測是指經由各種暴露途徑中污染物的濃度，較難準確評估人體之總暴露量與其吸收劑量。而疾病的篩檢則是大部分人體已經產生健康的影響或病變後而被篩檢出來。

生物偵測是污染物存在於人體中的濃度，代表人體經由各種暴露途徑累積的含量，亦可在污染物含量尚未造成健康影響之前即被檢驗出來，一般生物偵測可以連結環境暴露與健康影響的特性，使它同時成為危害物質暴露與其健康效應之重要指標。⁽²³⁾

常被用來當生物偵測的檢體包括：血液、尿液、頭髮、指(趾)甲等，其中頭髮與指(趾)甲是皮膚的衍生組織，代表較長期的暴露性累積，其生長速度之大小為其代表暴露時間累積性的重要因素，分析時，需要經過清洗步驟把外表上沾附的重金屬清除，但在清洗過程中必須確保頭髮與指(趾)甲中的重金屬不會流失。而血液與尿液通常反應較短期的暴露指標與身體中貯存含量，經常被使用於醫療上的生化指標之檢體分析，

血液代表在人體中傳輸的濃度，尿液中的濃度則是反映血中與腎臟中排出之濃度，血液在採樣時有侵入性，較不易取得或被人接受，則為其缺點，故當選擇尿液做為暴露評估生物偵測的檢體，尿液樣品具有非侵入性、容易取得、樣品容量足夠、易於運送或儲存、分析快速等優點^(24、25)，其所代表的暴露時間為幾天前的暴露，是短期暴露的良好指標。

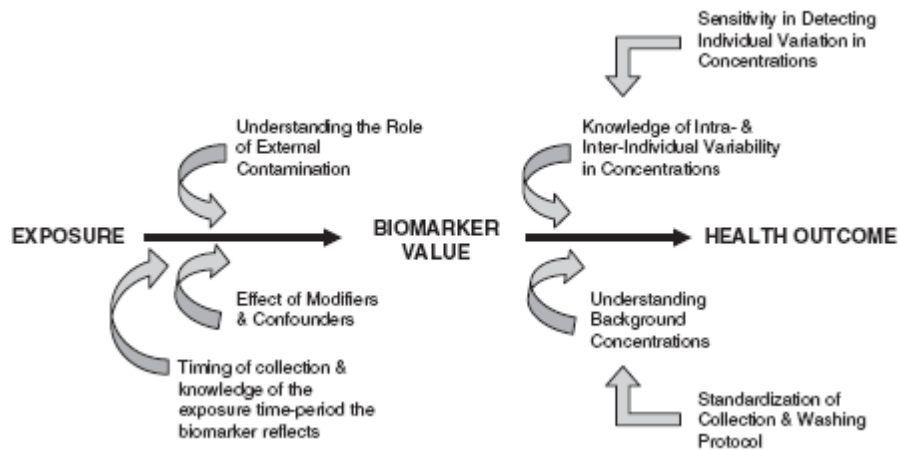
重金屬生物偵測與其暴露間關係是比較容易被驗證，相關國外研究 Gunilla⁽²⁶⁾所做吸入汞蒸氣與尿中汞排泄的關係，將9名健康自願者暴露於400ug/m³的汞蒸氣中15分鐘，汞蒸氣的身體吸收量約為吸入量的69%，尿汞的排泄量前3天約為身體吸收量的1%，30天累積排泄量為8-40%的身體吸收量。而Kiilunen⁽²⁷⁾所做電鍍工人鎳金屬之職業暴露研究中，尿中鎳對空氣中總懸浮微粒中鎳濃度具有顯著性之相關($r=0.849$ ， $p=0.016$)，但尿中鎳濃度對呼吸區之空氣中懸浮微粒鎳的濃度相關則較低($r=0.270$ ， $p=0.451$)，作者推測空氣懸浮微粒中的鎳除以吸入為暴露途徑外，亦會經由攝食(腸胃道吸收)的途徑進入體內。

生物偵測與其產生健康的效應，因果關係的建立是需要較長時間與多次的驗證，且影響健康效應的因子眾多，如吸菸行為與所引起癌症至少需要20年才容易建立起來，顯示生物偵測與健康效應的相關性仍需要深入仔細地探討⁽²⁸⁾。Ana⁽²⁹⁾在2005年尿中重金屬與周邊血管病變(Peripheral Arterial Disease, PAD)的研究中，使用美國國家與營養

調查的資料分析(N=790)，結果顯示調整干擾因子後PAD患者比對照組高了36%的尿中鎘濃度，尿中鎢濃度亦高了49%，另外校正其他干擾因子後用邏輯式迴歸計算四分位數Q1與Q3的風險對比值，結果顯示尿中鎘濃度較高者(Q3)得到PAD的風險為尿中鎘濃度較低者(Q1)之3.05倍(95%信賴區間為0.97-9.58)，尿中鎢濃度為Q3者得到PAD的風險值為尿中鎢濃度為Q1者之2.25倍(95%信賴區間為0.97-5.24)，在尿中銻濃度低於 $0.1 \mu\text{g/L}$ 時得到PAD的風險亦有隨尿中濃度升高而明顯上升的趨勢，但是限於橫斷式的研究設計，只能說美國一般族群中尿中鎘、鎢和銻與PAD有相關，並無法證明其中的因果關係。Rajpathak⁽³⁰⁾在2004年所做男性趾甲中鉻元素對糖尿病和心血管疾病的研究，研究對象包括688位糖尿病患者、198位糖尿與心血管患者與361位健康對照組，結果顯示趾甲中鉻元素濃度由高至低分別為對照組、僅有糖尿病之患者、糖尿病與心血管患者，具有顯著性遞減的趨勢($p=0.003$)，且在糖尿病與心血管患者趾甲中鉻元素比對照組OR值為0.45(95% CI 0.24-0.84)達顯著性差異。但此研究仍無法證明因果關係。Rayman⁽³¹⁾曾作硒元素與孕婦昏厥的研究中，選擇43名有昏厥經驗的孕婦與53名對照組，得知有昏厥症狀孕婦的趾甲硒元素濃度明顯低於對照組($p=0.001$)，趾甲硒較低者昏厥發生率比為一般的4.4倍(95% CI 1.6-14.9)，因此，作者認為增加硒的攝取可能對預防孕婦的昏厥有影響。

第四節 生物偵測之影響因素

Slotnick等人⁽³²⁾在2006年發表的論文中，整理生物偵測連結暴露與健康影響的影響因素，如下圖所示：



一般影響生物偵測代表性與準確性的因素有很多，包括採樣方式的一致性、採樣時的污染、採樣時間(因為人體中的濃度容易受外在影響而改變)，性別、年齡、新陳代謝、基因型等的個人差異，分析檢驗時的穩定度與準確度等。

歸納為外在因素與內在因素，外在因素如1. 採樣時間，因生物偵測代表的是一段時間，同時代表了現在的暴露與近期的累積，若現在正暴露於高濃度的污染物，則近期累積的影響會看不見，而近期曾暴露於高濃度的污染物，可能無法顯示現在的暴露。2. 研究對象的各種活動，只要有可能暴露到污染物都會影響到生物偵測的濃度，包括工作、搭乘交通工具、運動等等。3. 各種暴露途徑的影響，生物偵測代表的是身體中的總量，包括吸入、攝取與皮膚吸收都會影響生物偵測之濃度。4. 暴露

時的濃度，會直接影響生物偵測之濃度，故污染源的排放量、暴露時的氣候條件、通風情況皆會影響暴露濃度，進而影響生物偵測濃度。5. 採樣及分析之品保品管，需要良好的管控，否則實驗的誤差會影響生物偵測真實的濃度。內在因素則包括：1. 性別、2. 年齡、3. 基因型與4. 新陳代謝的情況，均會影響生物偵測的濃度，在分析時可以用分層分析將不同的條件分別描述與利用統計方法校正這些干擾因素之影響。^(6、7、23、31-33)

若以尿液做生物偵測時則應特別注意所取尿量的問題，其中包括個人喝水量的多寡、排泄的能力等因素，因此，常以尿中肌酸酐(Creatinine)做為校正，肌酸酐是由肌肉所產生的物質，成人一天尿中排泄約1克至1.6克(15-25毫克每公斤體重)，通常女性、營養不足者會較低，一般研究常將尿中肌酸酐小於0.3與大於3 g/L的極端值排除，再將尿液中的重金屬濃度($\mu\text{g/L}$)除以尿中肌酸酐的濃度(g/L)，成為尿中每克肌酸酐中的重金屬($\mu\text{g/g creatinine}$)的濃度(以 $\mu\text{g/g cre.}$ 表示)。

另外，亦須注意的事項包括：1. 採樣時間-每種重金屬在尿中有不同的半衰期，代表不同暴露時間。2. 暴露途徑-吸入、食入、皮膚接觸有不同的吸收率，若由食入與皮膚接觸進入人體的濃度很大時，可能會遮掩由吸入造成的濃度差異。3. 個人與個人間的差異-如飲食、吸菸、性別、年齡等。最後若要詳細瞭解重金屬對人體的影響，尚須瞭解暴露時重金屬的型態、價數、在身體中生化代謝的機制等資料。⁽³³⁾

由於各種重金屬元素在身體中會出現互相拮抗作用，Christian⁽³⁴⁾在93名飲水中暴露到砷之孕婦尿中硒與砷之研究，尿中硒濃度與尿中砷濃度有很強的相關($r=0.68$ ， $p<0.01$)，複迴歸分析結果顯示尿中硒濃度較高時亦會增加尿中砷的排泄。

第五節 中部科學園區可能之重金屬污染

近年來政府積極推動高科技產業的發展，其中半導體工業繼石化工業之後，已發展出具有完整的上、中、下游體系，成為我國在國際上較具競爭力之新興產業，半導體產業，包括以矽為主的積體電路產業和以IIIA-VA族(如GaAs)及IIB-VIA族(如ZnSe)化合物為主的光電(optoelectronics)相關產業。⁽³⁵⁾

半導體及面板產業製程通常需要使用大量具有危害性之化學物質，包括有害氣體、金屬、酸鹼物質及有機溶劑等。根據蔡清讚⁽³⁶⁾之調查及新竹科學園區之經驗，園區六大產業及各種次產業廠商可能產生之主要空氣污染物中，以光電產業與積體電路產業生之污染問題最為嚴重。半導體工業常見之製程為晶圓被研製成積體晶片過程中，需依產品功能要求進行各種多次反覆的氧化處理、化學氣相沉積(chemical vapor deposition)、磊晶沉積(exitaxial deposition)、離子植入(ion implantation)、以及濕式蝕刻(wet etching)等步驟，而在封裝製造的電鍍區，則可能有電鍍各

種重金屬(鋅、鉻、鎳、銅、金、銀、鉛)的危害。而光電產業主要之光電製程為液晶顯示器(liquid crystal display, LCD)及發光二極體(light emitting diode, LED)之生產，其中光電材料元件系統中，亦有含砷廢氣之危害。其他如電腦及週邊產業和通訊產業，可能有鉛(錒錫煙)的危害，而精密儀器，可能有鎳的危害等。

另有黃如瑋⁽³⁷⁾之文獻指出目前針對鎵(Ga)、銦(In)、鉍(T)、鍺(Ge)、砷(As)、銻(Sb)、硒(Se)等半導體元素之研究，顯示這些元素可能會涉及致癌機制與細胞防禦系統之傷害，其中若暴露到空氣中的無機砷元素或是二價砷會造成肺癌機率增加，飲用水中含有機砷則會造成皮膚癌的罹患機率增加，而硒則是對化學物誘發腫瘤具有抑制作用。

勞研所⁽³⁵⁾曾初步探討國內半導體製造業潛在之危害暴露，對於半導體產業中各製程潛在危害暴露，金屬的部分主要來自薄膜工程，其可分為二大部份：離子植入 (ion implantation) 與沉積薄膜。離子植入係指利用高能量離子束將欲植入之離子 (如：砷、磷、硼等離子) 植入半導體中。沉積薄膜則是利用化學氣相沉積 (chemical vapor deposition, CVD) 或物理氣相沉積 (physical vapor deposition, PVD) 等方式，使反應氣體分別以蒸氣沉積和濺鍍 (sputter deposition) 方式到晶圓表面上，因此作業員工主要金屬危害為吸入金屬煙塵及氧化物。

蕭淑銖⁽³⁸⁾曾對我國電子業從業人員職業性手部皮膚疾病之盛行率與其相關因子調查，對 183 名從事電子業之員工，做健康檢查與貼膚試驗，其中對鎳過敏者為 30 人(佔 16.4%)；而對鉻為 26 人(佔 14.2%)與鈷 30 人(佔 9.8%)等陽性反應的比例均偏高。經診斷為患有職業性皮膚病者共有 70 位(佔 38%)。其中 6 位是過敏性接觸皮膚炎患者，主要致病物質為鎳、鈷、鉻等重金屬。顯示在電子業製程中仍會有鎳、鈷、鉻等重金屬散佈在其工作場所。

有關於半導體產業重金屬危害的文獻，大多都注意到砷這個重金屬元素，如潘致弘等人⁽³⁹⁾於 2001 年的半導體業砷元素作業勞工健康危害評估之研究，研究對象來自國內三家半導體公司，以砷作業員工為暴露組，利用公司內行政人員為對照組，收集問卷資料、空氣樣本及血液、尿液、頭髮、指甲等生物檢體，砷作業員工尿中無機砷代謝物總和濃度分佈範圍為 16.73~ 190.85 $\mu\text{g/g cre.}$ (N=118)，行政人員尿中無機砷代謝物總和濃度分佈範圍為 21.14~ 171.12 $\mu\text{g/g cre.}$ (N=30)，並以 100 $\mu\text{g/g cre.}$ 為界限，超過者在砷作業員工有 10.17%、行政人員有 6.67%。但目前中科園區中的半導體、光電及精密機械等產業，如之前介紹可能會使用各種重金屬，會造成作業員工與附近居民之健康影響未必只有砷元素。

有關工業區固定污染源對附近居民的影響之相關文獻，Sekhar⁽⁴⁰⁾曾

對工業污染地區砷的風險評估之研究，在工業污染地區的地下水、地表水與土壤中砷元素的濃度均較高，且蔬菜中所含的砷濃度亦偏高，可能會經由食物鏈進入人體，因此檢測污染地區居民之血液、尿液、頭髮與指甲中的砷濃度均有偏高趨勢。Fernando⁽⁴¹⁾ 將75名工業地區附近的小孩做暴露組，另找距離7公里與25公里的鄉鎮小孩33與25名當作對照組，結果顯示暴露組尿中砷平均濃度為 $191.1 \mu\text{g/g cre.}$ ，對照組尿中濃度則分別為 $87.5 \mu\text{g/g cre.}$ 與 $74.3 \mu\text{g/g cre.}$ ，三者間砷元素濃度有顯著性差異。另外在尿中鎘濃度暴露組為 $1.22 \mu\text{g/g cre.}$ ，對照組尿中濃度分別為 $1.11 \mu\text{g/g cre.}$ 與 $1.40 \mu\text{g/g cre.}$ ，並未有顯著性之差異。以上兩篇研究皆證明了工業的重金屬砷污染會影響環境，並造成附近居民尿中砷濃度之升高。

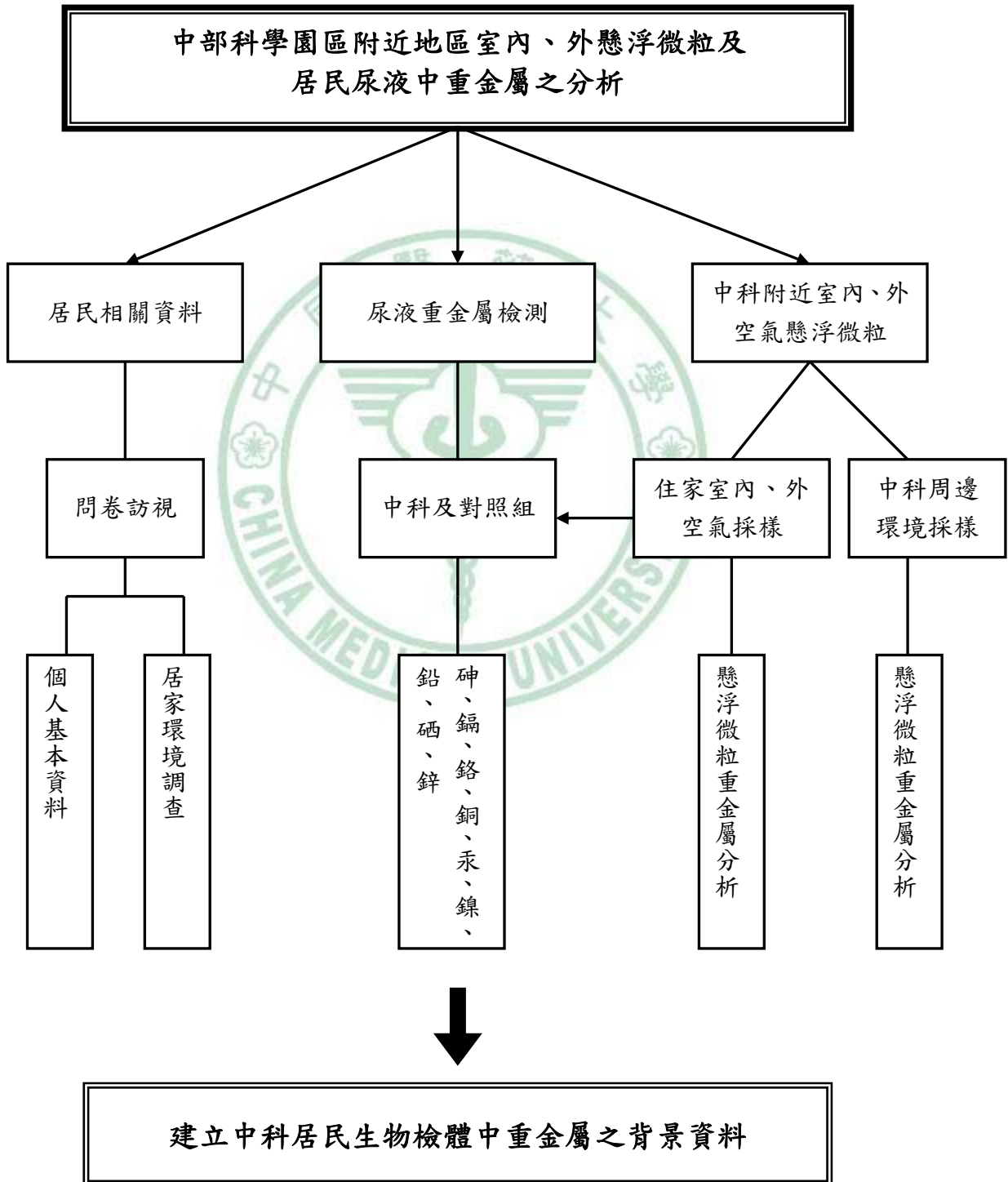
Barregard⁽⁴²⁾以氯鹼工廠附近居民義大利44位、瑞典69位當作暴露組，距離較遠且無工業污染地區的居民義大利38位、瑞典91位做對照組，收集居民問卷資料及生物檢體尿中的汞濃度，結果顯示在義大利的暴露組尿中汞濃度較低($0.81 \mu\text{g/g cre.}$ 比 $1.10 \mu\text{g/g cre.}$)，但在瑞典暴露組與對照組尿汞無顯著性差異(0.15 比 $0.14 \mu\text{g/g cre.}$)，推論在工業區空氣中汞濃度並不至於造成附近居民尿中汞濃度增加之影響，但使用汞齊補牙與時用海鮮則會顯著性的增加尿中汞的濃度。Wilhelm⁽⁴³⁾則是將工業地區附近居民包括母親及孩子當作暴露組，另找鄉村地區做對照組，

共收集451位之問卷資料、血中鎘、鉛與尿中鎘之濃度，結果在尿鎘中小孩並無顯著差異($0.13 \mu\text{g/g cre.}$ 比 $0.11 \mu\text{g/g cre.}$)，而工業地區的母親則是有較高的尿中鎘濃度(0.40 比 $0.25 \mu\text{g/g cre.}$)，母親與孩子並無明顯相關，且尿中鎘濃度僅有在母親的工業地區與對照組中有顯著性之差異。

總結，由於過去的研究大多為橫斷式的研究，常利用不同污染物濃度地區別來做比較，較少有比較工業區開發前、後污染物濃度改變的資料，本次研究則是針對工業中常見9種重金屬元素做分析，並在中科園區開發前、後收集附近居民尿中重金屬濃度之資料，建立中科園區開發各時期附近居民尿中重金屬之背景資料，希望能了解中科園區對附近居民重金屬暴露之影響。

第三章 研究方法與材料

第一節 研究架構



第二節 研究對象

I. 尿液檢體與問卷資料

台中科學工業園區附近不同族群之選擇包括：國安社區甲區、國安社區乙區、鄉林社區與秀山村之居民，請其居民自由參與；利用問卷收集其個人之基本資料，生活習慣，居住環境等資料，並採集其當時的尿液檢體，分別在 94 年(中科園區剛開發時)與 96 年(已有多家工廠正式量產)收集兩次，尿液檢體與問卷都有收集的人數分別為 243 位與 182 位。

其中國安國宅與鄉林社區位於中科的南區，而秀山村則是在中科北區，而中科發展的順序是從南區（友達光電與台灣康寧）先運作，往北區（茂德半導體、日東光電）發展。

對照地區族群：選擇距離台中科學工業園區約 24 公里之外台中縣新社鄉，其主要產業為農業⁽⁴⁴⁾，總共參與居民有 79 位，以同樣方法採集其尿液檢體與問卷資料。

II. 空氣中懸浮微粒之重金屬資料

戶外空氣中懸浮微粒之微量元素濃度係使用蔡清讚等人⁽³⁶⁾偵測中科周界空氣中懸浮微粒之重金屬濃度資料，其中有 94 年 11 月至 95 年 10 月戶外空氣中懸浮微粒之重金屬元素濃度，採樣地點主要為國安國小與土地公廟，分別鄰近國安國宅與秀山村之住宅區，以進一步評估戶外空

氣中懸浮微粒之重金屬元素與居民尿液中重金屬元素之關聯性。而風向條件部分，在 95 年 3 月至 9 月間以吹往南方的風較多(如圖 1-7 所示)。

中科園區附近住家空氣中懸浮微粒之重金屬元素濃度，選取國安國宅自願參與之社區居民，從 95 年 3 月與 96 年 1 月及 3 月共計 15 次住家之 24 小時空氣採樣，同時收集客廳、廚房(代表室內空氣濃度)與陽台(代表室外空氣濃度)的空氣懸浮微粒，並留取住戶民眾當天之尿液檢體，共計 34 個尿液樣品，希望瞭解居家空氣中懸浮微粒之重金屬元素濃度與其尿液中重金屬元素濃度之關聯性，並進一步推估可能的重金屬元素來源，中科附近採樣點相關位置請參照圖 1 所示。

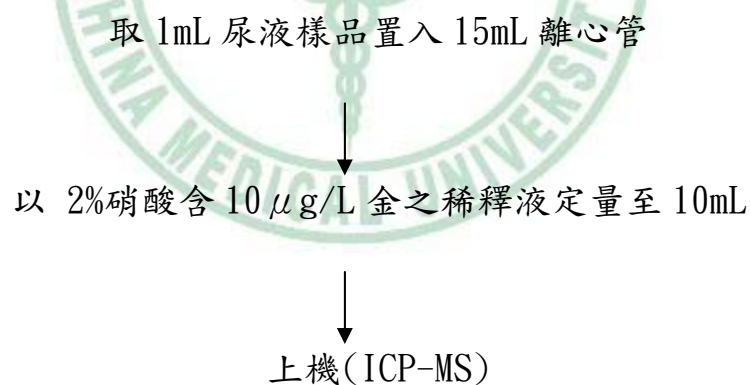


第三節 研究方法與工具

I. 尿液中重金屬濃度之分析

參考美國疾病管制局 2003 年編定，編號MTE-1.01 之尿中多種毒性元素感應式偶合電漿質譜法⁽⁴⁵⁾，以 2%硝酸含金元素濃度為 $10 \mu\text{g/L}$ 之稀釋液稀釋 10 倍後，用感應式偶合電漿質譜儀(ICP-MS)偵測砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、硒及鋅九種重金屬。

尿液中重金屬分析流程如下



檢測砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、硒、鋅九種重金屬

II. 空氣中懸浮微粒之重金屬濃度之分析

空氣採樣是連續採集 24 小時，將QCM放置於客廳，PEM則在客廳、廚房、陽台各放置一組PM_{2.5}與PM₁₀，每次採樣前皆以紅外線流量校正器校正幫浦流量至 10 LPM後，才開始執行家戶室內外空氣中懸浮微粒之採樣，另以熱線風速計量測採樣前後室內外溫、濕度、風速等氣候數據與校正數據逐一記錄，採樣後之濾紙經秤重後進行金屬成分分析。

分析方法是參考中華民國行政院環境保護署環境檢驗所於 2002 年公告方法⁽⁴⁶⁾，編號NIEA A301.11C之空氣中粒狀污染物之鉛、鎘含量檢驗法，先將採樣後之濾紙置入燒杯中，加入 3M硝酸溶液 10 毫升，覆蓋錶玻璃後於加熱板上加熱 75°C持續一小時，以純水定量至 25 毫升，用感應式偶合電漿質譜儀(ICP-MS)偵測砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、硒及鋅九種重金屬。

空氣中懸浮微粒中重金屬元素分析流程如下

將採樣完之濾紙置入燒杯中



加入 3M 硝酸溶液 10 毫升



蓋上錶玻璃，加熱 75°C，1hr



純水定量至 25 毫升



上機(ICP-MS)

檢測砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、硒、鋅九種重金屬

第四節 實驗儀器與藥品

I. 儀器及條件

感應式偶合電漿質譜儀(Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry, ICP-MS) (PerkinElmer-ELAN DRC II), 含(1)樣品導入裝置:霧化器與蠕動幫浦(2)原子化及離子源:電漿產生器與火炬組(3)質量分析儀(Mass Analyzer):四極柱(Quadrupole Mass Spectrometer)(4)偵測器:電子倍增器(Electron Multiplier)來偵測離子並放大訊號。偵測質量數:砷 75、鎘 111 與 114、鉻 53、銅 63、鎳 60、鉛 208、硒 82、鋅 64 與 66

儀器條件如附錄 1 所示

II. 器具與材料

器具

1. 抽氣櫃
2. 加熱板: CORNING PC-620 加熱板
3. 玻璃燒杯
4. 離心管: PP 製 50 與 15 毫升 IWAKI 離心管。
5. 定量吸管: 10 毫升 AS 級。

6. 可調式微量吸管：10-100 與 100-1000 μL 容量 BRAND 微量吸管。
7. 定量瓶：Pyrex 玻璃製 25 與 100 毫升定量瓶。
8. 塑膠瓶：PE 塑膠製 50 與 100 毫升窄口附內蓋塑膠瓶。
9. 個人式環境氣膠採樣器(Personal Environmental Monitor, PEM)：
SKC, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10}
10. 石英晶體微平衡衝擊器(Quartz crystal Microbalance cascade impactor, QCM)：California Measurements, Inc. USA 型號 PC-2
11. 礦物油脂：Dow Corning high-uacu μm grease
12. 濾紙：鐵氟龍濾紙, Tefol™, 37mm, 1.0 μm ；石英濾紙：TISSUQUARTZ
2500QAT-UP, 37mm
13. 靜音幫浦：Allfield 0-25LPM, 可調式靜音幫浦
14. 紅外線流量校正器：Gilian Instrument Corp USA
15. 熱線風速計：MODEL 8360 TSI, Inc. MN, USA
16. 恆溫乾燥箱：LINDBERG/BLUE
17. 微量天平：AND HR200

試藥

1. 70%硝酸(Nitric acid)：Selectipur UPS, MERCK。
2. 標準品：
Trace Elements Urine LOT N02525：Seronorm™

Elan 6100 DRC Atomic Spectroscopy Standard PE# N8125034,

PerkinElmer

ICP multi-element standard solution IV (23 elements in 1mol/L
nitric acid, 1000 ±10 mg/L, MERCK)

Arsenic 1000±4µg/mL in 2%HNO₃ (standard for ICP, MERCK)

Cadmium 1000±4µg/mL in 2%HNO₃ (standard for ICP, MERCK)

Chromium 1000±4µg/mL in 2%HNO₃ (standard for ICP, MERCK)

Copper 1000±4µg/mL in 2%HNO₃ (standard for ICP, MERCK)

Mercury 1000±4µg/mL in 2%HNO₃ (standard for ICP, MERCK)

Nickel 1000±4µg/mL in 2%HNO₃ (standard for ICP, MERCK)

Lead 1000±4µg/mL in 2%HNO₃ (standard for ICP, MERCK)

Selenium 1000±4µg/mL in 2%HNO₃ (standard for ICP, MERCK)

Zinc 1000±4µg/mL in 2%HNO₃ (standard for ICP, MERCK)

第五節 重金屬分析之品保品管(QA/QC)步驟

參照環保署檢驗所公告⁽⁴⁷⁻⁵⁰⁾，本研究的(QA/QC)包括以下八個部份：即儀器與方法偵測極限、檢量線製作、檢量線確認、穩定度確認、空白樣品確認、重覆樣品確認、查核樣品確認、添加樣品確認；

各項品保工作執行方式敘述如後，並以尿液樣品分析舉例：

I. 偵測極限(Detection Limit)

儀器偵測極限(IDL)：以標準溶液最低點重復檢測7次後，計算7次分析值之標準差(SD)，IDL即為3倍之SD。

方法偵測極限(MDL)：添加相當於IDL濃度之待測物，製成7個待測樣品，依相同分析步驟分析7個待測樣品，計算其濃度與標準偏差值，求得預估值，以預估值2~5倍配置7個待測樣品，依相同分析步驟分析計算之，利用兩次MDL之變異數(S^2 值，以 S_A 與 S_B 代表第1次與第2次)計算F比值，若 $S_A^2/S_B^2 < 3.05$ ，則以2.681倍之共同標準偏差(S_{pooled})為方法偵測極限。

$$S_{pooled} = \left[\frac{6S_A^2 + 6S_B^2}{12} \right]^{\frac{1}{2}}$$

II. 檢量線(Calibration Curve)製作

配製至少六點(不包括空白零點)已知濃度之標準溶液與其相對應儀器感應訊號值，所繪製而成的相關線性圖，並計算其相關係數，此值應

大於等於 0.995。

尿液分析之檢量線與偵測極限結果如附錄 2

III. 檢量線確認(Verification of Calibration Curve)

以不同於檢量線標準溶液來確認檢量線的適用性，其濃度應取檢量線中間濃度確認之；利用已建立檢量線求得濃度，比對標準溶液濃度，求其變異係數(CV)值，CV 值應小於 5%。

各微量元素之檢量線確認詳見附錄 3~11。

IV. 穩定度確認

配製同一濃度之樣品，連續測 7 次，算其 CV 值，以評估批次內(intra)之穩定度，另在不同天分析同一濃度之樣品，共 7 次，算其 CV 值，評估批次間(inter)之穩定度。

尿液分析之穩定度確認如附錄 12

V. 空白樣品分析(Blank)

每批次執行兩個空白樣品分析，確認待分析樣品在分析過程無遭受污染。

VI. 重覆樣品分析(Replication)

每批次執行一個重覆樣品分析，將同一樣品依相同前處理及分析步驟分別做兩次分析，得到兩次之濃度值(X_1 與 X_2)，計算讀值相對百分差異R%，R%應小於其平均值3倍標準差(10%)之內，藉此確認操作程序的精密度。

$$\text{相對百分差異 } R(\%) = \frac{|X_1 - X_2|}{1/2(X_1 + X_2)} \times 100\%$$

各微量元素重覆樣品分析結果詳見附錄 13~19。其中鉻與汞因分析的重覆樣品大多低於偵測極限，所以省略不列。

VII. 查核樣品分析(Quality Check Sample)

每批次執行一個查核樣品分析，購買濃度經確認之參考標準樣品(SRM)，Seronorm™ Trace Elements Urine LOT N02525，以相同方法分析，對照其經確認之濃度，藉此確認分析結果的準確度。

尿液查核樣品分析結果請參照附錄 20

VIII. 添加樣品分析(Spiked Sample)

每批次執行一個添加樣品分析，將同一樣品添加適當濃度之標準溶液後再依樣品前處理、分析步驟分析之；由添加標準品量、未添加樣品及添加樣品之測定值可計算添加標準品之回收率，其值應介於其平均值 ± 3

倍標準差之間(85%~115%)。

尿液添加樣品分析結果如附錄 21

並定期調整校正儀器；每次前處理都在抽風櫃進行操作；每個實驗器皿都用中性洗液清洗後，泡 20%硝酸 12 小時以上，再以二次純水清洗晾乾後使用⁽⁵¹⁾。



第六節 資料整理與統計分析

I. 問卷與各檢體分析之所有資料皆以 Microsoft Excel 建檔。

II. 以統計軟體 SPSS 13.0 版進行統計分析，方法包括：1. 描述性統計量做基本的資料呈獻。2. 無母數統計 Mann-Whitney U test 做中科與對照組新社鄉居民尿中重金屬之比較、94 與 96 年中科居民尿中重金屬之比較、中科北區與南區中 94 與 96 年居民尿中重金屬之比較。3. 無母數統計方法 Kruskal Wallis Test 比較中科北區、南區與新社鄉居民尿中重金屬之濃度。4. 皮爾森相關來分析住家空氣懸浮微粒中與尿中重金屬之相關。5. 因素分析分析住家空氣懸浮微粒中的因子。6. 多項式迴歸分析則是校正中科北區南區、性別、年齡、抽菸、二手菸暴露、住家臨近大馬路、使用空氣清淨機與拜香等干擾因子後，比較中科與新社鄉居民尿中重金屬、94 與 96 年中科居民尿中重金屬有無顯著性差異。7. 以邏輯式迴歸計算 96 年中科北區、南區民眾尿中重金屬濃度超過美國 NHANES III 參考值之對比值與 95%信賴區間。

III. 並以 Microsoft Excel 與 Sigma Plot 9.0 版佐以統計圖表。

第四章 結果

第一節 94 與 96 年中科附近居民尿中重金屬濃度之背景資料

表 1 為 94、96 年中科附近居民尿中重金屬濃度的分佈情況，排除了 45 個肌酸酐極端值後，再依平均值加 3 倍標準差的極端值定義，排除各種金屬之極端值，94 與 96 年有 4 位民眾都有做檢測，以 96 年為主，去除 94 年的資料，其中低於方法偵測極限者以二分之一方法偵測極限(MDL)計算。尿中濃度最高者為鋅，接者依次為砷、硒、銅、鎳、鎘、鉛、鉻、汞。各種重金屬在尿中濃度範圍頗大，標準差都達其平均數一半以上，其中尿中汞濃度差異最大，其標準差大於平均數；另外，依照各重金屬濃度排序，以超過 90%與 95%之濃度為參考值，其中 95%參考濃度值以尿中鋅 $1112.4 \mu\text{g/g cre.}$ 與尿中砷 $233.6 \mu\text{g/g cre.}$ 為最高。

第二節 96 年中科附近居民與對照組居民尿中重金屬濃度之橫斷性研究

如表 2 所示，96 年中科附近居民與對照組新社鄉居民尿中重金屬濃度，除鎘與鉛重金屬元素外，其餘皆達顯著性差異($p < 0.05$)，在達到顯著性差異的重金屬中，除銅元素以外其餘重金屬濃度中科居民皆大於對照組，差異最大的為尿中汞與硒濃度，在中科附近居民尿中濃度約為對照組之 2 倍。

如圖 9 至圖 17 所示，96 年中科與對照組居民尿中鎘與鉛濃度累積分佈相近，但高濃度(鎘 $>8 \mu\text{g/g cre.}$ 、鉛 $>6 \mu\text{g/g cre.}$)皆為中科居民，且只有尿中銅元素濃度對照組較高，其餘皆是中科居民尿中重金屬濃度較高，其累積分部曲線之斜率較小，表示中科居民尿中砷、鉻、汞、鎳、硒、鋅濃度分佈較廣，且中、高濃度者較多，而對照組則較多為低尿中濃度者。

砷、鎘、銅、鋅等重金屬在中科北區戶外空氣懸浮微粒濃度與其居民 94、96 年尿中濃度均比南區為高，其中鎘元素濃度的差異性最大，北區戶外空氣懸浮微粒濃度與居民尿中濃度約為南區之 2 倍。汞在空氣懸浮微粒中未檢出，其中鎳、鉛、硒空氣中濃度差異性不大，無法看出空氣懸浮微粒與尿中重金屬濃度有一致變化的趨勢，但在砷、鎘、銅、鋅則有空氣懸浮微粒中重金屬濃度較高時，其居民尿中重金屬濃度亦有偏高趨勢(請見表 3)。

從表 4 得知在 96 年中科北區、南區與對照組新社鄉中，尿中鎘濃度北區大於南區居民，但在 3 組間並無顯著性差異，在尿中鉛濃度亦未達顯著性差異。其中尿中銅濃度從高到低依次為對照組、中科北區及中科南區，且對照組與北區居民的濃度相近，但在尿中硒與鋅濃度從高到低依次為中科南區、中科北區及對照組，其餘 4 種金屬尿中濃度高低順序

皆為中科北區、中科南區及對照組，且 3 組間尿中重金屬濃度皆有顯著性差異。

第三節 中科居民尿中重金屬濃度 94 與 96 年間之比較

比較 94 年與 96 年中科附近居民尿液中九種重金屬濃度(見表 5)，使用無母數統計之 Mann-Whitney U test 做分析，結果顯示尿中重金屬濃度除鎘與鉛兩元素未達顯著性差異外，其餘七種居民尿中元素在中科園區開發前、後皆有顯著性差異($p < 0.05$)，其中銅與鎳元素為中科園區開發前濃度較高，其它 6 種重金屬皆為中科園區開發後濃度較高，其中尿中砷濃度 94 年為 $84.6 \mu\text{g/g cre.}$ ，顯著性低於 96 年 $104.4 \mu\text{g/g cre.}$ 濃度，而尿中汞與銅的差異最大約 2 倍。

另外，圖 18~26 是中科居民男、女性別尿中濃度在 94 與 96 年之比較，其中尿中鎘在男生女生中皆無顯著差異，尿中砷與鉛濃度只有在男性中 94 與 96 年達顯著性差異($p < 0.05$)，尿中鎳濃度只有在女性中 94 與 96 年達顯著性差異($p < 0.05$)，其餘尿中重金屬濃度在男性及女性中 94 與 96 年皆有達顯著性差異($p < 0.05$)。其中在男性與女性尿中銅、鎳元素與男性尿鉛濃度為 94 年高於 96 年，其它尿中重金屬濃度皆為 94 年低於 96 年。

比較 94 及 96 年中科北區與南區居民尿中重金屬濃度來探討中科園區開發前、後之差異，其中 94 年級 96 年在尿中鉛兩地皆未達顯著性差

異，而在砷、硒、鋅濃度在北區未有顯著性差異，鎳在南區未達顯著性差異，其餘尿中重金屬濃度皆有顯著性差異($p < 0.05$)。其中，中科園區開發前較高者有兩地居民的尿中銅、北區居民鎳與鎳元素，其餘尿中重金屬濃度皆中科園區開發後較高(請見表 6)。

如表 7 所示，在 94 年中科北區與南區居民尿中 9 種重金屬濃度中，除汞與硒元素外，其餘重金屬砷、鎳、鉻、銅、鎳、鉛及鋅濃度皆有顯著性差異($p < 0.05$)，且皆是北區居民的尿中重金屬濃度高於南區居民。在 96 年時僅有重金屬砷的結果與 94 年一致，北區居民尿中濃度明顯高於南區($p = 0.03$)，其餘尿中重金屬中汞變為有顯著性差異($p < 0.01$)，且北區居民尿中濃度高於南區居民，而尿中鎳與銅元素則變為統計邊緣值($p = 0.06$)。

第四節 以複迴歸分析比較地區別與中科園區開發前後居民尿中重金屬濃度差異

從表 8 顯示利用複迴歸模式校正性別、年齡、抽菸、二手菸暴露、住家臨近大馬路、使用空氣清淨機與拜香等因子後，在 96 年中科北區、南區民眾與對照組尿中砷皆有顯著性差異，尿中鎳與銅在 3 個地區皆無顯著性差異，其餘中科北區居民在尿中砷、鉻與汞濃度與對照組有顯著性差異，中科南區居民尿中鎳、鉛與鋅等元素濃度較對照組為高且有顯著性差異。

在表 9 顯示為校正中科地區別、性別、年齡、抽菸、二手菸暴露、住家臨近大馬路、使用空氣清淨機與拜香等因子之複迴歸分析，除尿中鎘、鎳、鉛元素濃度外，其餘元素皆有達顯著性差異，其中尿中銅濃度為 94 年較高，其他尿中重金屬砷、鉻、汞、硒及鋅等濃度皆為 96 年較高。尿中鎳濃度經多變項迴歸分析變成統計邊緣值($p=0.06$)，另外，與中科園區工廠製程較有關聯性之重金屬包括砷、硒及鋅，96 年皆有高於 94 年之趨勢。

第五節 住家空氣中懸浮微粒重金屬之因素分析

如表 10 結果顯示，在 PM_{10} 空氣懸浮微粒之重金屬因素分析中，得知在因子 1 在室內、外解釋力皆達 50%以上，且與第一個因素較相關重金屬包括砷、鎘、銅、鎳、鉛、硒與鋅，而在第二因素主要是汞，再室外空氣重金屬中第三個因素主要是鉻元素。

表 11 為 $PM_{2.5}$ 空氣懸浮微粒重金屬之因素分析中，得知在因子 1 在室內、外解釋力皆達 45%以上，且與第一個因素較相關重金屬為砷、鎘、銅、鎳、鉛、硒與鋅，但在第二個因素中，主要包括鉻及汞元素，在室內空氣 $PM_{2.5}$ 重金屬中鎳及硒元素則是呈負相關

第六節 住家空氣中懸浮微粒與其居民生物檢體重金屬濃度之相關性

如表 12 所示，住家採樣室內、外空氣中懸浮微粒與尿中重金屬濃度，以對數(log)做皮爾森(Pearson)之相關，其中在室內空氣中PM₁₀懸浮微粒濃度與尿中濃度有達顯著性正相關者有鎘($r=0.52$)、銅($r=0.38$)與鉛($r=0.36$)，鎳與硒元素濃度在室內空氣中懸浮微粒PM₁₀中與尿中則呈現顯著性負相關，而室內PM_{2.5}空氣中懸浮微粒與尿中重金屬鎘有顯著性正相關($r=0.42$)，鎳則呈現顯著性負相關。在室外空氣中懸浮微粒與尿中僅有PM₁₀與尿中重金屬汞有顯著性負相關，其餘元素在空氣中懸浮微粒與尿中皆無顯著性相關。

將 94 與 96 年住家採樣之室內空氣懸浮微粒PM₁₀中與中科附近居民尿中重金屬濃度做進一步的探討，發現在砷、硒與鋅 3 種重金屬在 96 年室內空氣懸浮微粒PM₁₀中的濃度較 94 年高，濃度增加達 1.5 倍以上，而中科附近居民尿中砷、硒與鋅這 3 種重金屬的濃度，亦是 96 年明顯高於 94 年（請見表 13）。

第七節 尿中重金屬濃度與各國參考值之比較

目前國內並無一般民眾尿中重金屬濃度之參考值，本研究對象來自 94、96 年中科非職業暴露居民尿中重金屬，我們將其濃度排序已超過 90% 與 95% 濃度值當作參考值，並與美國第三次國民健康營養調查⁽⁵²⁾ (The Third National Health And Nutrition Examination Survey, NHANES III)、美國某尿液重金屬檢測公司⁽⁵³⁾ (DOCTORS DATA INC, DDI) 及德國環保署⁽⁵⁴⁾ (German Federal Environmental Agency) 等制定之參考值作比較，結果得知中科居民尿中重金屬濃度超過 90% 與 95% 濃度值在砷、鎘、鉻和鎳皆高於 NHANES III 之參考值，其中 95% 尿中濃度超過 NHANES III 者包括砷為 $233.6 \mu\text{g/g cre.}$ 、鎘為 $6.67 \mu\text{g/g cre.}$ 、鉻為 $1.77 \mu\text{g/g cre.}$ 和鎳為 $18.2 \mu\text{g/g cre.}$ ，只有鉛濃度為 $4.13 \mu\text{g/g cre.}$ 及汞 $2.16 \mu\text{g/g cre.}$ 則低於美國參考值，另外中科居民尿中鉻在 90% 與 95% 濃度 $5.24 \mu\text{g/g cre.}$ 及 $6.67 \mu\text{g/g cre.}$ 均超過德國制定的參考值及影響健康濃度值(請見表 14)。

以超過 NHANES III 制定各種重金屬參考值之偏高比例為基準(尿中砷 34%、尿中鎘 73%、尿中鉻 40% 及尿中鎳 47%)，對照組為參考族群，計算 96 年中科北區、南區民眾尿中濃度超過此參考值之風險比，其中在校正：性別、年齡、抽菸、二手菸暴露、與拜香等干擾因子後，尿中砷濃

度超過參考值的比例為 34%，風險比中科北區為 3.4，95%信賴區間為 1.2-8.9，南區為 2.6 (95%CI=1.2-5.6)皆顯著性高於對照組，且有統計意義。尿中鎘濃度超過人數佔全部的 73%，超過對照組之風險比在中科北區與南區均無統計之意義。但在鉻元素在中科北區尿中濃度超過參考值之風險比為 6.7(95%CI=2.5-18.0)，南區為 4.2(95%CI=1.9-9.0)均高於對照組且有統計意義，總共超過參考值之人數比例為 40%。鎳元素在尿中濃度超過對照組之風險比，在中科北區為 3.5(95%CI=1.3-9.2)，在南區為 2.0(95%CI=1.0-4.1)均有統計之意義，超過參考值之人數佔 47% (請見表 15)。



第五章 討論

第一節 樣本代表性

本研究共收集 504 份尿液樣品與其問卷，扣除肌酸酐小於 0.3 與大於 3 g/L 的極端值共 48 個，另每項重金屬濃度各有若干極端值，故各重金屬有效個數並不相同，住家空氣懸浮微粒樣本 73 個，尿液樣品 34 個，扣除肌酸酐極端值後有效樣本數為 32 個。

I. 研究的對象

本研究的對象為中科附近社區居民，共 425 位參與，選取緊鄰中科園區之人口密集的社區，配合其舉行大型聚會活動時進行樣本與資料的收集，94 與 96 年所有研究對象皆為自願方式，重覆之 4 位民眾，則是選取 96 年的資料，一般而言，自願者較重視自身健康，想要了解其健康情況，亦有部份研究對象退休在家，其長時間待在家中或在住家附近活動，容易暴露到中科污染物，為易感受族群，在 94 與 96 年兩次所收集的族群中，性別與年齡皆無顯著性之差異。中科北區(秀山村)是在舉辦老人聚會時進行採樣，對象年紀較大(平均年齡 69 ± 7)、長期居住於此，中科南區之對象年紀較輕(平均年齡 54 ± 19)，且國安國宅甲、乙區多為近三年遷入之住戶，以其為研究對象可代表該地區之易感受族群。

II. 對照組之選取

新社鄉為台中縣一主要產業為農業之鄉鎮，位於台中市東邊，距離中科 24 公里以上，地形主要是山地與丘陵台地，人口中僅 5-10%從事工業，且多為加工業，無明顯工業污染⁽⁴⁴⁾，交通流量小，但此地區氣候環境與經濟條件與中科附近相似，故選取此地區居民作為中科地區附近居民之對照組。

對照組新社鄉居民，共有 79 位參與本研究，在 13 個村落中選取人口最多的新社村與大南村，在其舉行老人聚會時，進行問卷調查與收集尿液，研究對象主要以務農維生之老人(平均年齡 73±11)，皆長期居住於此，可以代表新社鄉大部分之易感受族群。

III. 住家空氣懸浮微粒採樣之代表性

至於室內、外懸浮微粒採樣之住家與社區的建築型態完全類似，且分佈於該社區內不同位置-國安一路 1 號、3 號、9 號及 18 號，不同樓層(1、3、6、7 及 10 樓)，並包含吸菸家庭 3 戶與非吸菸家庭 4 戶，其他污染源與該社區其他住家相似，可代表該社區一般之住家型態。此外，採樣器放置地點為客廳、廚房與陽台，以客廳、廚房為室內污染源，陽台為室外空氣，可代表該住家環境暴露之情形。

第二節 尿液重金屬濃度之影響因子

I. 分析之準確與穩定性

尿液樣品在採樣時，是由研究對象將其尿液裝入 50 毫升離心管中，立即分裝約 1.5 毫升供 Creatinine 測定，以石蠟膜封緊上蓋後，放入低溫保溫箱後運送回實驗室，以 -40°C 冰箱保存，待分析時再解凍回溫。

在分析方法中，尿中重金屬的分析方法包括：加熱板、微波消化與稀釋法，使用儀器主要為原子吸收光譜儀(AA)、感應式偶合電漿光譜儀(ICP-OES)與感應式偶合電漿質譜儀(ICP-MS)等。本研究是參考美國CDC公告之方法⁽⁴⁵⁾，主要為稀釋法，此方法已有相當可信度，此次分析儀器每月均進行儀器內部校正，分析過程之品保與品管程序皆符合實驗室相關規範：方法偵測極限(鋅為 $2.5 \mu\text{g/L}$ 其餘為 $0.3 \mu\text{g/L}$ 以下)、檢量線製作(r值皆達 0.995 以上)、檢量線確認(誤差 10%以內)、穩定度確認(批次內CV值 5%以內，批次間 11-5%)、空白樣品確認、重覆樣品確認(相對百分誤差 3%以內)、查核樣品確認(回收率鉻 69%、鉛 77%、硒 116%，其餘 99~88%)、添加樣品確認(回收率 104-93%) 每批次樣本分析時皆有良好管控措施，每種重金屬分析方式均嘗試不同質荷比與不同模式後，選擇其最佳分析條件，其中重金屬鉻、鉛及硒之尿液查核樣品回收率，雖未達 $\pm 15\%$ 之內，但回收率都非常穩定(標準差皆小於 0.06)，故將所測得

之銻、鉛及硒濃度再以回收率校正計算實際尿中濃度。至於尿中汞濃度容易揮發、不穩定的問題，已藉由將稀釋液添加金(Au)元素，配成含金元素濃度為 $10 \mu\text{g/L}$ 的稀釋液解決，其回收率可達 103%。

Rasmussen⁽⁵⁵⁾ 在 2007 年研究之結果指出，個人與室內、外空氣樣品在採樣、前處理及分析時均有可能會有重金屬之污染，尤其以鋁和鋅元素最為嚴重，故本研究在採集住家空氣中懸浮微粒時，每一住家皆同時做現場空白樣品，並與採集的樣品一起運送、處理與分析，最後空氣懸浮微粒中重金屬濃度是將住家現場空白扣除後的值。

II. 干擾因子

其它的影響重金屬生物偵測之相關因子，會因不同地區的環境而有不同程度的暴露，而個人生活習慣、飲食、新陳代謝的差異等，亦會對尿中重金屬濃度造成影響，在國內外文獻中^(6, 7, 56-60)均指出受測者性別、年齡、居住地及營養情況與其體內金屬濃度有相關性，其中抽菸和二手菸暴露對尿中砷、鎘、鉛有顯著性之影響，食用海鮮亦會增加尿中砷與汞之濃度、汞齊補牙可增加尿中汞濃度，其他因素如交通、空氣清淨機等均會對生物指標中重金屬濃度有明顯之影響。本研究中已對上述可能干擾因子進行調整，目前汞齊在牙科材料中已逐漸減少，且較不易請研究對象分辨自己補牙的材料；至於飲食習慣和食用海鮮頻率兩部分，因各種食物中所含重金屬元素之濃度不同，要準確調查研究對象所食用之

食物亦有其困難度。因此，本研究假設在 94、96 年中科附近居民與對照組中使用汞齊補牙、飲食和食用海鮮所暴露的重金屬為隨機分佈，在年度別或地區別上這兩個因素並未有明顯之差異，因此，未加以調整。

第三節 中科園區對附近居民尿中重金屬濃度的影響

目前已知與中科園區工廠製程較有關聯性的重金屬主要包括砷、硒及鋅等元素，而砷元素在近期的新聞報導⁽⁶¹⁾與東海大學的報告⁽⁶²⁾中均指出，中科施工中(94年)周界三處空氣監測站所測得砷在空氣濃度值，附近除永興宮為 2.5 ng/m³外，其餘檢測點皆低於 0.6 ng/m³，至 95 年底中科大部份產業均已完全量產，永興宮空氣中砷濃度升高為 31 ng/m³，中科園區開發前後周界空氣中濃度暴增從 12.4 倍到 54 倍。另外，在蔡介曉⁽⁶³⁾2007 年研究也顯示，中科園區開發時，空氣中的乾沉降與總懸浮微粒是明顯高於前幾年，且其中重金屬包括鐵、鈣、鎂與鋅濃度在周界地區也顯示高於其他附近地區，結果顯示中科園區的開發與施工，可能導致週遭環境中空氣總懸浮微粒與乾沉降污染物濃度的增加，曾經沉降後污染土壤或吸入影響人體。

在墨西哥Wilhelm⁽⁴¹⁾的研究指出，有砷污染的工業地區中，在空氣、土壤及灰塵中砷濃度均有偏高現象，當地小孩的尿液與頭髮中的砷含量亦較高。而Sekhar⁽⁴⁰⁾在 2003 的研究顯示，在砷污染的工業地區中，砷有

可能經由水、土壤與蔬菜等暴露途徑，累積於人體，造成居民血、尿、指甲和頭髮中砷濃度較對照組為高，另外，砷暴露較高之當地居民尿中砷濃度亦會較高之趨勢。

比較 94 與 96 年中科附近居民尿中重金屬濃度，本研究得知 96 年中科附近居民尿中砷、鉻、汞、硒及鋅濃度均比 94 年有顯著性的增加，由於兩個研究族群在一年多的時間內，其年齡、性別、生活型態應無顯著之改變，飲食中的重金屬暴露亦可假設隨機分佈，無法解釋兩個年度中科居民尿中重金屬增加之原因，因此可以合理推論造成居民尿中重金屬升高可能與中科園區的開發案有關。另外，96 年中科附近居民尿中砷、鉻、汞、硒及鋅濃度亦顯著高於對照組之居民，亦顯示此地區居民有尿中重金屬偏高之事實，其中尿中砷濃度超過 NHANES III 參考值的風險，中科北區居民為對照組的 3.4 倍(95%信賴區間為 3.4-2.6)，居住在中科南區居民則為對照組的 2.6 倍(95%信賴區間為 1.2-5.6)。

另外，值得注意的是中科園區使用重金屬砷、硒及鋅之濃度在空氣懸中浮微粒與附近居民尿中濃度皆有同步上升之趨勢，96 年中科附近居民尿中砷、鉻、汞、硒及鋅濃度，在地區別與中科園區開發前後皆有顯著性的增加，故推測中科園區所排放之重金屬污染源的確對附近居民暴露濃度有顯著性之影響。

第四節 尿液重金屬濃度與國內外研究之比較

一般尿液樣品中重金屬濃度可反映出人體實際暴露環境重金屬的濃度，是較具有代表性之生物偵測之指標，目前已廣泛的使用於國內、外，主要用於勞工職業族群與一般民眾的暴露評估。

本研究中科附近居民尿中砷平均濃度為 $92.7 \mu\text{g/g cre.}$ ，若依其濃度排序95%濃度值以上者為 $233 \mu\text{g/g cre.}$ ，相當於美國NHANES III建議參考值得2倍。另外，國內相關的研究⁽⁶⁴⁻⁶⁶⁾，一般民眾尿中砷濃度(三價、五價、單甲基砷酸MMA與雙甲基砷酸DMA加總)大多為 $10-50 \mu\text{g/L}$ 之間，僅有邱弘毅⁽⁵⁾1996年的研究蘭陽地區飲水中砷含量低於 $50 \mu\text{g/L}$ 之21名男性，尿中砷平均濃度(三價、五價、單甲基砷酸MMA與雙甲基砷酸DMA加總)為 $105.4 \mu\text{g/L}$ ，30名女性，尿中砷平均濃度為 $105.4 \mu\text{g/L}$ ，但飲水中超過 $300 \mu\text{g/L}$ 以上時，男性尿中砷平均濃度會達到 $443.4 \mu\text{g/L}$ ，顯示尿中砷濃度會隨飲水中的砷濃度增加而升高。嘉義地區在無砷暴露之烏腳病盛行地區之一般大眾分別男性為 $110.2 \mu\text{g/L}$ 及女性為 $84.6 \mu\text{g/L}$ ，與本研究濃度十分相似。而國外的調查報告中，墨西哥1991年⁽⁴¹⁾，工業區附近75名小孩尿中平均濃度 $191.1 \mu\text{g/g cre.}$ ，對照組為 $87.5 \mu\text{g/g cre.}$ 與 $74.3 \mu\text{g/g cre.}$ 。顯示工業區附近居民易受工業排放重金屬的污染。

砷進入人體之主要途徑包括：1. 經由吸入冶鍊廠或燃煤之煙塵，2. 飲水，3. 食物，其中以食物是最大來源⁽⁴⁾，海鮮、魚類含有高量的砷，主

要以有機砷型態Arsenobetaine存在⁽⁶⁷⁾。Han等人⁽⁶⁸⁾調查台灣魚類及貝介類中砷含量範圍為0.01-20.1mg/kg。由於台灣四面環海，海產類較易取得，食用不同的海產均有可能會造成尿中砷(DMA)增加5-20 $\mu\text{g/L}$ ⁽⁶⁰⁾。美國水中砷平均濃度為2 $\mu\text{g/L}$ ，美國環保署在2001年將飲用水中砷濃度標準設為10 ppb，與台灣相同，但台灣河川湍急無法保留降雨，往往需利用地下水作為飲用、灌溉、養殖、工業用途時，砷元素較有機會進入人們體內，這都有可能為NHANES III參考值不適用於本國一般民眾之因素，因此台灣有需要調查屬於自己一般大眾尿中砷濃度之參考值。

美國工業衛生師協會(ACGIH)制定尿中無機砷濃度BEI值為50 $\mu\text{g/g cre.}$ ，而尿中無機砷佔所有總砷的比例約為10-15%⁽⁶⁹⁻⁷¹⁾，若以中科居民尿中砷95%濃度值233.6 $\mu\text{g/g cre.}$ 推算，其中無機砷濃度為23.3-35.0 $\mu\text{g/g cre.}$ ，95%中科居民仍低於BEI值。顯見本研究中科附近居民尿中砷濃度已有偏高趨勢，除有可能受到中科園區排放污染之影響外，是否有其他特定污染源包括：台中工業區及台中榮總焚化爐等特定污染源所影響，均有待進一步探討。

中科附近居民尿中鎘平均濃度為2.88 $\mu\text{g/g cre.}$ 雖高出NHANES III參考值的2倍，但與國內無職業暴露⁽³⁾及台南地區一般大眾尿中鎘濃度相似⁽⁷²⁾(3.45 $\mu\text{g/g cre.}$ 、1.59 $\mu\text{g/g cre.}$)，在大陸250位一般民眾和日本61位一般民眾之尿中鎘濃度分別為2.30 $\mu\text{g/g cre.}$ 及2.62 $\mu\text{g/g}$

cre.⁽⁷²⁾均略低於本研究。本研究結果尿中鎘濃度雖高於NHANES III參考值，推測為各國環境背景值不同所導致，但本研究有 46 位超過德國環保署所制定健康影響值($5 \mu\text{g/g cre}$)，仍須注意重金屬鎘所導致的健康影響。

潘致弘等人⁽⁷³⁾調查 68 名非電鍍區工人尿中鉻平均濃度為 $4.1 \mu\text{g/g cre}$ ，高於本研究中科附近居民尿中鉻平均濃度 $0.69 \mu\text{g/g cre}$ ，但在 NHANES III 尿中參考值為 $0.60 \mu\text{g/g cre}$ ，而 DDI 制定值場暴露鉻生物指標參考濃度範圍為 $12-250 \mu\text{g/g cre}$ ，ACGIH 也制訂一周工作結束後，尿中鉻濃度不得超過 $30 \mu\text{g/g cre}$ ，且工作前後差異不得超過 $10 \mu\text{g/g cre}$ ，一般職場中的尿中鉻參考濃度為 $5 \mu\text{g/g cre}$ 。⁽⁷⁴⁾本研究中科附近居民尿中鉻 95% 濃度值為 $1.77 \mu\text{g/g cre}$ ，且在地區別與中科園區開發前後皆有顯著性的差異，顯示中科附近居民須注意是否有重金屬鉻較高的暴露量。

中科附近居民尿中銅平均濃度在為 $18.0 \mu\text{g/g cre}$ ，介於美國尿液重金屬檢測公司所使用尿中銅參考濃度範圍為 $11-48 \mu\text{g/g cre}$ 之間，與調查台灣地區 30 名一般健康民眾營養研究中，尿中銅平均濃度 $20.2 \mu\text{g/g cre}$ 相近⁽⁷⁵⁾，96 年中科附近居民尿中銅濃度顯著性低於 94 年，可能尚有未知的因素如其他元素間的競爭或其它干擾因素的影響。

中科附近居民尿中汞平均濃度為 $0.50 \mu\text{g/g cre}$ ，遠低於 NHANES III

的參考值為和德國的參考濃度為，與國內 1991 年⁽⁷⁶⁾曾對 80 名銀行行員做的調查，尿中汞平均濃度($1.90 \mu\text{g/g cre.}$)相比較低，若與國外文獻比較，得知與埃及 93 名無職業暴露一般大眾尿中汞平均濃度 $0.48 \mu\text{g/g cre.}$ 相近，更低於美國新墨西哥州 135 位一般大眾尿中汞平均濃度 $5.52 \mu\text{g/g cre.}$ ⁽⁷⁷⁾，中科附近居民尿中汞濃度並未有超過德國制定健康產生影響濃度($20 \mu\text{g/g cre.}$)者，但中科附近居民尿中汞濃度仍較對照組民為高，因此，須長期監測空氣中與居民尿中汞濃度以了解其可能之暴露源。

中科附近居民尿中鎳平均濃度為 $7.44 \mu\text{g/g cre.}$ 亦超過NHANES III 參考值，高於國內 2001 年之研究一般健康對照組⁽³⁾尿中鎳平均濃度 $4.39 \mu\text{g/g cre.}$ ，但與美國新墨西哥州 135 位一般大眾尿中鎳平均濃度 $7.02 \mu\text{g/g cre.}$ 相近⁽⁷⁷⁾。在本研究中科與對照組居民的比較有顯著性的差異，但在中科園區開發前後並無顯著性差異，推測為地區環境差異的影響。

中科附近居民尿中重金屬鉛元素平均濃度為 $1.66 \mu\text{g/g cre.}$ ，遠低於NHANES III參考值，此與台南一般大眾尿中濃度 $2.17 \mu\text{g/g cre.}$ 相近，更低於250位大陸一般民眾與61位日本一般大眾($4.63 \mu\text{g/g cre.}$ 、 $2.76 \mu\text{g/g cre.}$)⁽⁷²⁾，卻美國新墨西哥州135位一般大眾尿中濃度 $0.83 \mu\text{g/g cre.}$ ⁽⁷⁷⁾，可能因無鉛汽油使用後，國人體內鉛濃度持續下降

所導致⁽⁷⁸⁾，使得本研究中的尿鉛濃度低於過去國內與亞洲國家尿中鉛平均濃度，但仍高於歐美國家的尿中鉛平均濃度。

中科附近居民尿中硒平均濃度為 $60.6 \mu\text{g/g cre.}$ ，國內研究⁽²⁾指出未食用含硒營養補充品時尿中硒濃度為 $38 \mu\text{g/g cre.}$ 食用後一天、二天及三天尿中濃度分別為 $81.5 \mu\text{g/g cre.}$ 、 $144.4 \mu\text{g/g cre.}$ 、 $161.3 \mu\text{g/g cre.}$ 。美國一般正常人的尿中硒含量為 $62\text{--}280 \mu\text{g/g cre.}$ ⁽⁵³⁾，中科附近居民尿中濃度並未有超過 $280 \mu\text{g/g cre.}$ 者，但中科對附近居民在兩年間已有硒暴露增加的趨勢，仍需密切的注意。

尿中鋅平均濃度在中科附近居民濃度為 $447.7 \mu\text{g/g cre.}$ 此與國內 1993 年 26 名⁽⁷⁹⁾ 及 1997 年 32 名⁽⁶⁶⁾ 一般健康大眾尿中鋅平均濃度相近 ($540 \mu\text{g/L}$ 、 $427 \mu\text{g/L}$)，目前一般尿中參考值為 $97\text{--}1100 \mu\text{g/g cre.}$ ⁽⁵³⁾，在中科附近居民中僅有 20 人尿中鋅濃度超過 $1100 \mu\text{g/g cre.}$ ，因此仍需密切注意中科園區是否會有造成附近居民鋅暴露的增加。

第五節 研究限制與未來方向

本研究的限制包括：

1. 尿液樣品重金屬濃度影響之因素：其他外在環境中的污染、飲食、生活習慣、年齡、個人新陳代謝能力等因素，雖用問卷資料做了部分變項的校正，但仍無法完全控制其他影響因素之干擾。

2. 本研究中科園區開發前後比較之研究對象，為相同社區但非相同個人，較為可惜，若能建立研究世代，以相同族群作前後比較，可減少個人因素差異之干擾。
3. 本研究採集之尿液樣品為單一隨機樣品(Spot urine)，其變異性較大，若能請參與對象留取 24 小時尿液或累積多次尿液樣品，則可減少取樣時其他干擾因素之影響。
4. 本研究中科附近住家空氣懸浮微粒採樣之樣本數較少，除空氣來源外，其他影響尿中重金屬濃度之外在與內在因素眾多，其結果之相關性可能有所限制。
5. 國內目前尚無建立尿中重金屬濃度之相關參考值，使得比較重金屬濃度高低較為困難。

因此，在未來的研究方向可建立中科附近居民之研究世代，定期監測其環境中空氣、水、土壤中各種重金屬的濃度，利用生物偵測分析附近居民重金屬暴露情況，除尿液外亦可分析居民頭髮、指甲中重金屬作比較，並進一步分析居民健康情況之改變，以了解中科排放源對附近居民的長期健康影響，建立完整健康風險的評估。

第六章 結論與建議

第一節 結論

1. 本研究建立了中科附近居民尿液中重金屬濃度之基本資料，94、96年中科附近居民尿中濃度最高者為鋅，接者依次為砷、硒、銅、鎳、鎘、鉛、鉻、汞。各種重金屬在尿中濃度範圍頗大，標準差都達其平均數一半以上；另外，依照各重金屬濃度排序，已超過90%與95%之濃度為參考值，其中95%參考濃度值以尿中鋅 $1112.4 \mu\text{g/g cre.}$ 與尿中砷 $233.6 \mu\text{g/g cre.}$ 為最高。
2. 將中科與對照組居民尿液中重金屬做分析比較，結果中科附近居民尿中砷、鉻、汞、鎳、硒、鋅等濃度都較對照組高($p < 0.05$)。
3. 探討中科開發前後附近居民尿液中重金屬之差異，發現開發後附近居民尿中砷、鉻、汞、硒、鋅等濃度都較開發前高($p < 0.05$)，尿中銅濃度開發後較低($p < 0.05$)。
4. 中科北區與南區戶外空氣中與尿中重金屬中，砷、鎘、銅、鋅在中科北區戶外空氣懸浮微粒與尿中濃度都比南區高。
5. 中科園區附近住家室內、外空氣懸浮微粒中元素與居民尿中元素中，僅有室內空氣中鎘與尿中鎘有顯著性相關($r = 0.521$)，其他重金屬元素皆無顯著性相關。

6. 計算 96 年中科北區、南區民眾尿中濃度超過美國 NHANES III 之參考值風險對比值，以對照組為參考族群，中科北區居民尿中砷風險為 3.4 倍、南區為 2.6 倍，尿中鉻中科北區為對照組之 6.7 倍、南區 4.2 倍，尿中鎳之對比值在北區為 3.5 倍，南區為 2.0 倍，皆有統計之意義。

第二節 建議

1. 目前中部科學園區已帶來附近地區的發展與繁榮，但相對地亦增加居民部分重金屬暴露量，除中科園區的排放物外，其他來源如台中工業區的影響，仍需收集更多的環境與流行病學的資料才可準確確認。
2. 結果顯示中科園區會造成附近居民尿中砷、鉻、汞、硒、鋅等金屬濃度之增加，因此，相關環保單位及主管機關應檢測中科園區各重金屬排放源的濃度，建立周邊空氣重金屬長期監測資料，若有需要可在中科園區周邊設置緩衝區。
3. 國內可建立尿中重金屬濃度之資料庫，制定參考值，以作為暴露與健康影響之指標。
4. 中科附近居民應注意平時生活中砷、鉻、汞、硒、鋅元素的暴露與攝取，學術機構應嘗試建立其個人的健康基本資料與其他如血液、頭髮等生物偵測值，以作為準確推估個人重金屬風險值。

參考文獻

1. 中部科學園區網站，<http://www.ctsp.gov.tw> 2006。
2. 林和靜，利用Microbore-HPLC-ICP-MS連線分析系統進行尿中硒物種的分析研究，國立清華大學原子科學系，碩士論文，2003。
3. 洪清吉，煉鋼廠員工尿中微量元素鉛、鎘及鎳濃度之研究，碩士論文，高雄醫學大學藥學院藥學研究所，2001。
4. 林浩潭，食品中重金屬含量及管制標準，行政院農委會藥物毒物試驗所，2002。
5. 邱弘毅，台灣西南沿海烏腳病盛行地區及蘭陽盆地無機砷之代謝能力與健康危害之流行病學研究，博士論文，台灣大學公共衛生研究所，1996。
6. Heitland P, Koster HD. Biomonitoring of 30 trace elements in urine of children and adults by ICP-MS. *Clinica Chimica Acta* 2006 ; 365 : 310-318.
7. Mortada WI, Sobh MA, El-Defrawy MM, et al. Reference Intervals of Cadmium, Lead, and Mercury in Blood, Urine, Hair, and Nails among Residents in Mansoura City, Nile Delta, Egypt. *Environ Res Section A* 2002 ; 90 : 104-110.
8. 宋鴻樟，認識環境毒物教材編撰，行政院環保署，2002。
9. 陳吉平譯，最新毒理學，合計圖書出版社，2000，255-269。
10. 徐豪貝，利用多元素石墨爐原子吸收光譜儀直接且同時測定尿液中的鈹，鉛，鎘，硒，銻元素，碩士論文，清華大學化學研究所，2004。
11. Bates MN, Smith AH, Hopenhayn RC. Arsenic toxicity. *Am J Epidemiol* 1994 ; 135 : 462-476.
12. WHO. Environmental Health Criteria 18, Arsenic. Geneva. WHO; 1981.
13. Oliver MA. Soil and human health : A review. *Soil Sci Soc Am J* 1997 ; 48 : 573-592.
14. Waalkes MP, Rehm S. Cadmium and prostate Cancer. *J Toxicol Environ Health* 1994 ; 43 : 251-269.
15. 梁曉芳，鎘誘導人類正常肺細胞 MRC-5 細胞凋亡之探討，臺北醫學大學醫學研究所，碩士論文，2002 年。
16. Biego GH, Joyeux M, Hartemann P, et al. Determination of mineral contents in different kinds of milk and estimation of dietary intake in infants. *Food Addit Contam* 1998 ; 15 : 775-781.
17. WHO. Environmental Health Criteria 118, Inorganic mercury. Geneva. WHO;1991.

18. Pocock SJ, Smith M, Baghurst P, et al. Environmental lead and children's intelligence : A systematic review of the epidemiological evidence. *BMJ* 1994 ; 309 : 1189-1197.
19. WHO. Trace elements in human nutrition and Health. Geneva. WHO; 1996.
20. Petropoulou MO, Michalke B, Kavouras D, et al. Selenium speciation analysis in a sediment using strong anion exchange and reversed phase chromatography coupled with inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 2003 ; 478 : 219-227.
21. Yang KL, Jen JS. Determination of selenium compounds in urine samples by liquid chromatography- inductively coupled plasma mass spectrometry with an ultrasonic nebulizer. *Analytica Chimica Acta* 1995 ; 307 : 109-115.
22. Australia New Zealand Food Authority. The 19th Australian total diet survey 2001. <http://www.anzfa.gov.au>
23. Foa V, Alessio L. General Principles. 27. Biological Monitoring. Robert Lauwerys. <http://www.ilo.org/>
24. Samantaa G, Sharmaa R, Tarit Roychowdhury, et al. Arsenic and other elements in hair, nails, and skin-scales of arsenic victims in West Bengal, India. *Sci Total Environ* 2004 ; 326 : 33-47.
25. Barbosa FJ, Tanus-Santos JE, Gerlach RF, et al. A critical review of biomarkers used for monitoring human exposure to lead: advantages, limitations, and future needs. *Environ Health Perspect* 2005 ; 113 : 1669-1674.
26. Gunilla SE, Elinder CG, Gunnar J, et al. The absorption, blood levels, and excretion of mercury after a single dose of mercury vapor in humans. *Toxicol Appl Pharmacol* 1998 ; 150 : 146-153.
27. Kiilunen M, Aitio A, Tossavainen A. Occupational exposure to nickel salts in electrolytic plating. *Ann Occup Hyg* 1997 ; 41 : 189-200.
28. Kokayi K, Altman CH, Callely RW, et al. Findings of and treatment for high levels of mercury and lead toxicity in ground zero rescue and recovery workers and lower manhattan residents. *J Environ Sci Health* 2006 ; 2 : 400-407.
29. Ana NA, Silbergeld EK, Sharrett AR, et al. Metals in Urine and Peripheral Arterial Disease. *Environ Health Perspect* 2005 ; 113 : 163-169.
30. Rajpathak S, Stampfer MJ, Rimm E, et al. Lower toenail chromium in men with

- diabetes and cardiovascular disease compared with healthy men. *Diabetes Care* 2004 ; 27 : 2211-2216.
31. Rayman MP, Bode P, Redman WG. Low selenium status is associated with the occurrence of the pregnancy disease preeclampsia in women from the United Kingdom. *Am J Obstet Gynecol* 2003 ; 189 : 1343-1349.
 32. Slotnick MJ, Nriagu JO. Validity of human nails as a biomarker of arsenic and selenium exposure: A review. *Environ Res* 2006 ; 102 : 125-139.
 33. Paustenbach DJ, Panko JM, Fredrick MM, et al. Urinary chromium as a biological marker of environmental exposure: what are the limitations. *Regul Toxicol Pharmacol* 1997 ; 26 : S23-S34.
 34. Christian WJ, Hopenhayn C, Centeno JA, et al. Distribution of urinary selenium and arsenic among pregnant women exposed to arsenic in drinking water. *Environ Res* 2006 ; 100 : 115-122.
 35. 石東生、黃文玉，國內半導體製造業潛在危害暴露之初步探討，*勞工安全衛生簡訊*第24期。
 36. 蔡清讚，建立中部科學園區開發所致空氣污染之健康風險評估模組之子計畫—中部科學園區半導體及光電產業無機酸與懸浮微粒環境監測及長期變化趨勢，*國科會永續會研究成果報告*，2005。
 37. 黃如璋，人類暴露在常用半導體金屬的致癌危險，*勞工安全衛生簡訊*第11期。
 38. 蕭淑銖，電子業從業人員職業性手部皮膚疾病之盛行率與相關因子調查，*勞工安全衛生研究季刊* 1996；第四卷第四期：41-51。
 39. 潘致弘、黃友利、林碧珍等人，半導體業砷作業勞工健康危害評估研究，*半導體研究成果發表會* 2001。
 40. Sekhar KC, Chary NS, Kamala CT, et al. Risk assessment and pathway study of arsenic in industrially contaminated sites of Hyderabad: a case study. *Environ Int* 2003 ; 29 : 601-611.
 41. Fernando DB, Miguel AS, Jose JM, et al. Arsenic and cadmium exposure in children living near a smelter complex in san luis potosi, Mexico. *Environ Res* 1993 ; 62 : 242-250.
 42. Barregard L, Horvat M, Mazzolai B, et al. Urinary mercury in people living near point sources of mercury emissions. *Sci Total Environ* 2006 ; 368 : 326-334.
 43. Wilhelm M, Eberwein G, Holzer J, et al. Human biomonitoring of cadmium and lead

exposure of child–mother pairs from Germany living in the vicinity of industrial sources. *J Trace Elem Med Biol* 2005 ; 19 : 83–90.

44. 台中縣新社鄉公所網站，<http://www.shinshou.gov.tw>。
45. Jones RL. Urine multiple toxic elements inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). MET-1.01. CDC 2003.
46. 空氣中粒狀污染物之鉛、鎘含量檢驗法(NIEA A301.11C)，環署檢字第0910041671號公告，2002。
47. 環保署環境檢驗所環境檢驗室品質管制指引通則(NIEA-PA101)，環署檢字第0930072069A 號公告，2004。
48. 環境檢驗室檢量線製備及確認指引(NIEA-PA103)，環署檢字第0930072069C 號公告，2004。
49. 環境檢驗室品管分析執行指引(NIEA-PA104)，環署檢字第0930072069D 號公告，2004。
50. 環境檢驗室品質管制圖建立指引(NIEA-PA105)，環署檢字第0930072069E 號公告，2004。
51. 環境檢驗器皿清洗及校正指引(NIEA-PA106)，環署檢字第0930072069F 號公告，2004。
52. Centers for Disease Control and Prevention NCHS. The third national health and nutrition examination survey. <http://www.cdc.gov/nchs/> 2006
53. Doctors Data, Inc. <http://www.doctorsdata.com> 2006
54. Ewers U, Krause C, Schulz C, et al. Reference values and human biological monitoring values for environmental toxins. *Int Arch Occup Environ Health* 1999 ; 72 : 255-260.
55. Rasmussen PE, Wheele AJ, Hassan NM, et al. Monitoring personal, indoor, and outdoor exposures to metals in airborne particulate matter: Risk of contamination during sampling, handling and analysis. *Atmos Environ* 2007 ; Available online at www.sciencedirect.com
56. Willers S, Gerhardsson L, Lundh T. Environmental tobacco smoke (ETS) exposure in children with asthma—relation between lead and cadmium, and cotinine concentrations in urine. *Respir Med* 2005 ; 99 : 1521–1527.
57. White MA, Sabbioni E. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Union a study of 13 elements in blood and urine of a United Kingdom

- population. *Sci Total Environ* 1998 ; 216 : 253-270.
58. Batariova A, Spevakovaa V, Benes B, et al. Blood and urine levels of Pb, Cd and Hg in the general population of the Czech Republic and proposed reference values. *Int J Hyg Environ Health* 2006; 209: 359–366
 59. Tomoko O, Mineshi S, Tomoko K, et al. Total mercury levels in hair, toenail, and urine among women free from occupational exposure and their relations to renal tubular function. *Environ Res* 2007 ; 103 : 191-197.
 60. 姚琬琳，人體進食海產類食物後尿液中砷代謝物種分析，台灣大學公共衛生學院職業醫學與工業衛生研究所，碩士論文，2002。
 61. 鄭文正、趙容萱，中科啟用後台中砷空氣暴增54倍，聯合報，2007. 02. 07。
 62. 張鎮南、陳萬哩，從中科周邊空氣排放高濃度毒害性砷(As)探討建立新環境品質標準，東海大學 環境科學與工程學系，2007/6/7。
 63. 蔡介曉，大型工業區開發對周圍大氣懸浮微粒及其重金屬之衝擊，東海大學環境科學與工程學系，碩士論文，2007。
 64. Lin SM. Diagnostic usefulness of trace Arsenic in human urine, whole blood, hair and fingernails. *Kaohsiung J Med Sci* 1986 ; 2 : 100-113.
 65. 陳由瑄，食用牡蠣後尿中砷代謝物分佈之變異性，台灣大學公共衛生學院職業醫學與工業衛生研究所，碩士論文，2003。
 66. Horng CJ, Lin SR. Determination of urinary trace elements (As, Hg, Zn, Pb, Se) in patients with Blackfoot disease. *Talanta* 1997 ; 45 : 75-83.
 67. Vahter M. Species differences in the metabolism of arsenic compounds. *Appl Organomet Chem* 1994 ; 8 : 175–182.
 68. Han BC, Jeng WL, Chen RY, et al. Estimation of target hazard quotients and potential health risk for metals by consumption of seafood in Taiwan. *Arch Environ Contam Toxicol* 1998 ; 35 : 711-720
 69. Buchet JP, Lauwerys R, Roels H. Comparison of the urinary excretion of arsenic metabolites after a single oral dose of sodium arsenite, monomethylarsonate, or dimethylarsinate in man. *Int Arch Occup Environ Health* 1981 ; 48 : 71-79
 70. Foa V, Colombi A, Maroni M, et al. The speciation of the chemical forms of arsenic in the biological monitoring of exposure to inorganic arsenic. *Sci Total Environ* 1984 ; 34 : 241-259.
 71. Vahter M, Lind B. Concentrations of arsenic in urine of the general population in

- Sweden. *Sci Total Environ* 1986; 54:1-12.
72. Masayuki I, Zhang ZW, Shinichiro S, et al. Urban population exposure to lead and cadmium in east and south-east Asia. *Sci Total Environ* 2000 ; 249 : 373-384.
73. 潘致弘，黃友利，陳秋蓉等人，電鍍業勞工鉻暴露與氧化傷害評估研究，勞工安全衛生研究季刊 2005；13：139-146。
74. Lauwery R, Hoet P. *Industrial chemical Exposure: Guideline for biological Monitoring*. Lewis Publishers. Atlanta 1993.
75. 林賢美，江季勛，楊末雄，利用感應耦合電漿原子發射光譜測定尿中鉛，鎘及銅之含量，*Kaohsiung J Med Sci* 1985；1：409-416.
76. 梁玲郁，藍忠孚，毛義芳，牙醫師之尿液和頭髮中汞濃度與其工作環境相關因子的研究，*中華衛誌* 1991；10：296-303。
77. Wolfe MI, Mott JA, Voorhees RE, et al. Assessment of urinary metals following exposure to a large vegetative fire, New Mexico, 2000. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 2004；14：120-128.
78. Hwang YH, Ko Y, Chiang CD, et al. Transition of cord blood lead level, 1985-2002, in the Taipei area and its determinants after the cease of leaded gasoline use. *Environ Res* 2004；96：274-282.
79. Wang GS, Cheng PL. Zinc and Copper Status in Patients with Proteinuria. *J Chin Nutr Soc* 1993；18：151-163.

表1. 94、96年中科附近居民尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之分佈

	砷	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	硒	鋅
個數	425	425	425	425	425	425	425	425	425
極端值	50	53	50	57	48	52	48	51	58
平均數	92.7	2.88	0.69	18.0	0.50	7.44	1.66	60.6	447.7
標準差	70.9	1.87	0.57	13.2	0.89	5.16	1.40	33.1	298.6
幾何平均數	72.8	2.28	0.55	13.5	0.29	5.85	1.26	52.8	370.8
最小值	10.3	0.22	0.15	1.0	0.06	0.27	0.15	12.3	54.6
最大值	410.2	9.95	4.00	78.0	8.91	27.76	10.83	179.2	1590.3
90%濃度值	178.0	5.24	1.27	35.4	0.96	14.3	3.36	106.6	857.4
95%濃度值	233.6	6.67	1.77	42.8	2.16	18.2	4.13	131.5	1112.4

表2. 96年中科與對照組居民尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之比較

元素名稱	中科 (N=182)	對照組 (N=79)	T-Test	Mann-Whitney U
			<i>p</i>	<i>p</i>
砷	104.4±76.7	82.3±53.6	0.01	0.05
鎘	3.04±1.95	3.19±1.40	0.50	0.24
鉻	0.81±0.61	0.52±0.53	<0.01	<0.01
銅	12.40±9.11	14.74±9.59	0.07	0.02
汞	0.74±1.07	0.35±0.49	<0.01	<0.01
鎳	6.73±4.82	5.28±3.39	0.01	0.05
鉛	1.70±1.62	1.42±1.10	0.17	0.28
硒	70.0±38.8	35.8±21.1	<0.01	<0.01
鋅	527.4±308.1	419.0±255.7	0.01	0.01

表 3. 中科周遭戶外空氣(ng/m^3)與 94、96 年中科附近居民尿中($\mu\text{g}/\text{g cre.}$)重金屬濃度之分佈

元素名稱	中科北區		中科南區	
	空氣(N=12)	尿液 (N=58)	空氣(N=12)	尿液(N=363)
砷	0.60±0.31	121.9±69.0	0.47±0.22	88.6±70.3
鎘	0.15±0.18	4.44±1.95	0.08±0.09	2.62±1.72
鉻	3.16±1.93	0.91±0.74	9.54±19.1	0.65±0.52
銅	36.8±31.8	21.2±12.3	22.1±24.1	17.4±13.3
汞	ND	0.74±1.21	ND	0.46±0.82
鎳	2.75±6.07	9.57±5.42	3.19±7.48	7.13±5.05
鉛	12.7±4.7	2.03±1.67	14.1±12.4	1.60±1.34
硒	0.11±0.20	51.8±23.5	0.11±12.43	60.8±34.7
鋅	75.7±36.6	535.5±308.0	63.6±32.3	433.3±295.7

表 4. 96 年中科北區、南區與對照組居民尿中重金屬濃度($\mu\text{g}/\text{g cre.}$)之比較

元素名稱	中科北區 (N=25)	中科南區 (N=157)	對照組 (N=79)	ANOVA <i>p</i>	Kruskal Wallis Test <i>p</i>
砷	133.2±78.6	99.3±75.5	82.3±53.6	<0.01	0.01
鎘	3.68±1.87	2.93±1.95	3.19±1.40	0.15	0.07
鉻	1.09±0.91	0.76±0.53	0.52±0.53	<0.01	<0.01
銅	14.7±7.5	12.0±9.3	14.4±9.6	0.09	0.01
汞	1.08±0.95	0.68±1.08	0.35±0.49	<0.01	<0.01
鎳	7.65±4.51	6.57±4.87	5.28±3.39	0.03	0.04
鉛	1.68±1.20	1.70±1.68	1.42±1.10	0.39	0.35
硒	62.0±22.4	71.4±40.9	35.8±21.1	<0.01	<0.01
鋅	509.4±179.9	530.6±326.2	419.0±255.7	0.03	0.02

表 5. 中科居民 94 年與 96 年尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之比較

元素名稱	94 年 (N=239)	96 年 (N=182)	T-Test <i>p</i>	Mann-Whitney U <i>p</i>
砷	85.6±65.7	104.4±76.7	0.01	<0.01
鎘	2.76±1.80	3.04±1.95	0.15	0.17
鉻	0.61±0.52	0.81±0.61	<0.01	<0.01
銅	21.9±14.3	12.4±9.1	<0.01	<0.01
汞	0.33±0.69	0.74±1.07	<0.01	<0.01
鎳	8.02±5.35	6.73±4.82	0.02	0.01
鉛	1.64±1.23	1.70±1.62	0.68	0.18
硒	54.3±27.1	70.0±38.8	<0.01	<0.01
鋅	395.0±281.6	527.4±308.1	<0.01	<0.01

表 6. 在中科北區與南區居民在 94 及 96 年尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之比較

元素名稱	中科北區			中科南區		<i>p</i> *
	94 年 (N=33)	96 年 (N=20)	<i>p</i> *	94 年 (N=216)	96 年 (N=162)	
砷	113.4±60.7	133.2±78.6	0.44	80.9±65.5	99.3±75.5	0.01
鎘	5.04±1.82	3.68±1.87	0.01	2.41±1.52	2.93±1.95	0.05
鉻	0.77±0.55	1.09±0.91	0.2	0.58±0.50	0.76±0.53	<0.01
銅	26.0±13.0	14.67±7.47	<0.01	21.3±14.4	12.0±9.3	<0.01
汞	0.49±1.33	1.08±0.95	<0.01	0.31±0.52	0.68±1.08	<0.01
鎳	11.0±5.7	7.65±4.51	0.02	7.54±5.15	6.57±4.87	0.06
鉛	2.29±1.92	1.68±1.20	0.08	1.53±1.04	1.70±1.68	0.32
硒	59.1±25.0	62.0±22.4	0.75	53.5±27.4	71.4±40.9	<0.01
鋅	554.6±377.6	509.4±180.0	0.58	369.6±255.3	530.6±326.2	<0.01

*Mann-Whitney U

表 7. 94 及 96 年在中科北區與南區居民尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之比較

元素 名稱	94 年			96 年		
	北區 (N=33)	南區 (N=216)	p^*	北區 (N=20)	南區 (N=162)	p^*
砷	113.4±60.7	80.9±65.5	<0.01	133.2±78.6	99.3±75.5	0.03
鎘	5.04±1.82	2.41±1.52	<0.01	3.68±1.87	2.93±1.95	0.06
鉻	0.77±0.55	0.58±0.50	<0.01	1.09±0.91	0.76±0.53	0.12
銅	26.0±13.0	21.3±14.4	0.02	14.67±7.47	12.0±9.3	0.06
汞	0.49±1.33	0.31±0.52	0.12	1.08±0.95	0.68±1.08	<0.01
鎳	11.0±5.7	7.54±5.15	<0.01	7.65±4.51	6.57±4.87	0.12
鉛	2.29±1.92	1.53±1.04	<0.01	1.68±1.20	1.70±1.68	0.29
硒	59.1±25.0	53.5±27.4	0.12	62.0±22.4	71.4±40.9	0.66
鋅	554.6±377.6	369.6±255.3	<0.01	509.4±180.0	530.6±326.2	0.48

*Mann-Whitney U

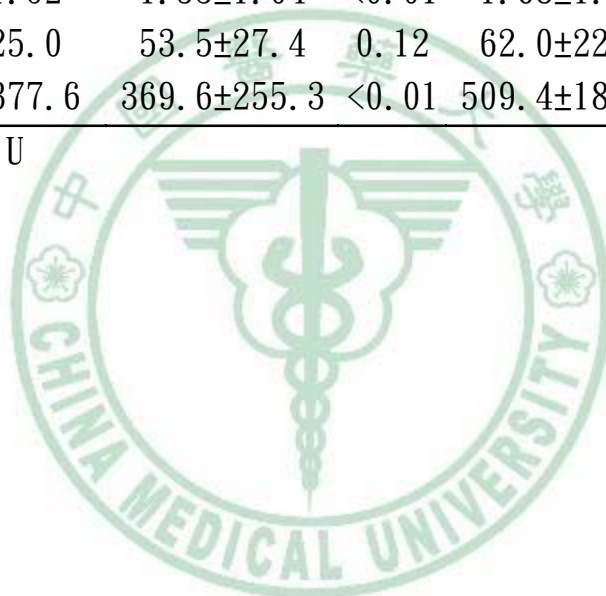


表 8. 96 年中科北區、南區與對照組居民尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之複迴歸分析

元素名稱		中科北區 (N=25)	中科南區 (N=157)	對照組 (N=79)
砷	濃度	145.3±16.9	109.3±8.6	87.9±12.1
	<i>p</i>	<0.01	0.28	參考組
鎘	濃度	3.5±0.4	3.3±0.2	3.1±0.3
	<i>p</i>	0.99	0.99	參考組
鉻	濃度	1.2±0.1	0.8±0.1	0.6±0.1
	<i>p</i>	<0.01	0.12	參考組
銅	濃度	13.0±2.2	14.1±1.1	13.1±1.6
	<i>p</i>	0.99	0.99	參考組
汞	濃度	1.2±0.2	0.5±0.1	0.4±0.2
	<i>p</i>	0.01	0.99	參考組
鎳	濃度	6.8±1.0	7.0±0.5	4.6±0.7
	<i>p</i>	0.10	<0.01	參考組
鉛	濃度	1.3±0.4	1.7±0.2	1.1±0.3
	<i>p</i>	0.99	0.05	參考組
硒	濃度	60.2±7.8	79.2±4.0	30.8±5.6
	<i>p</i>	<0.01	<0.01	參考組
鋅	濃度	515.0±69.3	598.3±37.4	400.1±49.4
	<i>p</i>	0.31	<0.01	參考組

調整因子：性別、年齡、抽菸、二手菸暴露、住家臨近大馬路、使用空氣清淨機與拜香

表 9. 中科附近居民 94 年與 96 年尿中重金屬濃度($\mu\text{g/g cre.}$)之複迴歸分析

元素名稱	94 年 (N=239)	96 年 (N=182)	<i>p</i>
砷	101.4±8.3	120.5±8.4	0.01
鎘	3.11±0.20	3.36±0.20	0.17
鉻	0.73±0.07	0.93±0.07	0.01
銅	21.47±1.48	12.58±1.48	<0.01
汞	0.43±0.11	0.86±0.11	<0.01
鎳	8.28±0.59	7.16±0.59	0.06
鉛	1.56±0.16	1.67±0.16	0.50
硒	55.9±3.7	70.0±3.7	<0.01
鋅	418.8±34.2	564.8±34.7	<0.01

調整因子：中科北區南區、性別、年齡、抽菸、二手菸暴露、住家臨近大馬路、使用空氣清淨機與拜香



表 10. 住家空氣PM₁₀中各重金屬之因素分析

PM ₁₀	室內空氣 (N=25)		室外空氣 (N=10)		
	因素 1	因素 2	因素 1	因素 2	因素 3
解釋變異量(%)	56.60	20.48	60.76	17.58	12.38
砷	0.86	-0.02	0.81	0.53	-0.05
鎘	0.90	0.21	0.91	0.18	-0.22
鉻	0.50	0.71	0.45	0.06	0.84
銅	0.85	0.29	0.89	-0.13	0.11
汞	-0.25	0.70	-0.25	0.95	0.00
鎳	0.56	-0.63	0.79	-0.06	0.44
鉛	0.94	0.05	0.93	0.03	-0.26
硒	0.73	-0.55	0.90	0.20	-0.21
鋅	0.88	0.12	0.79	-0.54	-0.19

室內與室外因素 1 共同之相關金屬：砷、鎘、鉻、銅、鉛、硒及鋅

表 11. 住家空氣PM_{2.5}中各元素之因素分析

PM _{2.5}	室內空氣 (N=28)		室外空氣 (N=10)	
	因素 1	因素 2	因素 1	因素 2
解釋變異量(%)	48.45	24.43	65.47	18.37
砷	0.91	0.02	0.86	0.23
鎘	0.73	-0.43	0.94	-0.04
鉻	0.40	0.70	0.34	0.74
銅	0.86	0.35	0.94	0.15
汞	0.10	0.74	-0.51	0.68
鎳	0.48	-0.76	0.85	0.40
鉛	0.97	0.08	0.96	-0.11
硒	0.39	-0.50	0.92	0.02
鋅	0.88	0.15	0.73	-0.63

室內與室外因素 1 共同之相關金屬：砷、鎘、銅、鉛及鋅

表 12. 住家空氣中與住戶居民尿中重金屬濃度經對數(log)轉換之相關性

元素名稱	室內		室外	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}
砷	-0.20	0.05	0.18	0.18
鎘	0.52**	0.42*	0.33	0.34
鉻	0.28	0.30	0.09	-0.03
銅	0.38*	0.30	-0.23	-0.04
汞	0.01	0.01	-0.46*	-0.19
鎳	-0.60**	-0.60**	-0.17	-0.22
鉛	0.36*	0.08	0.30	0.21
硒	-0.43*	-0.11	-0.29	-0.25
鋅	0.05	0.03	-0.09	-0.05

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

表 13. 住家空氣PM₁₀中(ng/m^3)與住戶居民尿中($\mu\text{g}/\text{g cre.}$)重金屬濃度之分佈

元素名稱	94 年		96 年	
	空氣 (N=5)	尿液 (N=243)	空氣 (N=20)	尿液 (N=182)
砷	1.5	85.6±65.7	1.9	104.4±76.7
鎘	1.3	2.76±1.80	0.9	3.04±1.95
鉻	5.8	0.61±0.52	1.7	0.81±0.61
銅	13.6	21.9±14.3	12.7	12.4±9.1
汞	ND	0.33±0.69	ND	0.74±1.07
鎳	NA	8.02±5.35	7.8	6.73±4.82
鉛	31.4	1.64±1.23	26.3	1.70±1.62
硒	0.4	54.3±27.1	2.4	70.0±38.8
鋅	58.8	395.0±281.6	112.4	527.4±308.1

表 14. 94、96 年中科居民尿中重金屬 90%與 95%濃度值與各參考濃度之比較($\mu\text{g/g cre.}$)

	中科 90%濃度值	中科 95%濃度值	NHANES III ^a	DDI ^b	GFEA ^c
砷	178.0	233.6	100	100	
鎘	5.24	6.67	1.48	0.5	2 / 5
鉻	1.27	1.77	0.6	12-250	
銅	35.4	42.8		11-48	
汞	0.96	2.16	20	3	5 / 20
鎳	14.3	18.2	5	12	
鉛	3.36	4.13	6.4	15	
硒	106.6	131.5		62-280	
鋅	857.4	1112.4		97-1100	

^a美國第三次國民健康營養調查之參考值

^b美國尿液重金屬檢測公司DOCTORS DATA INC所使用參考值

^c德國環保署所擬定參考值/影響健康濃度值

表 15. 96 年中科北區、南區與對照組居民尿中重金屬濃度超過NHANES III 參考值之對比值與其 95%信賴區間

	砷	鎘	鉻	鎳
人數(%)	84 (34%)	181 (73%)	99 (40%)	117 (47%)
中科北區	3.4 ^{a*} (1.2-8.9)	0.8 (0.2-3.0)	6.7 [*] (2.5-18.0)	3.5 [*] (1.3-9.2)
中科南區	2.6 [*] (1.2-5.6)	0.4 (0.2-1.0)	4.2 [*] (1.9-9.0)	2.0 [*] (1.0-4.1)
對照組	1	1	1	1

^a對比值(95%信賴區間)

*具統計意義

調整因子：性別、年齡、抽菸、二手菸暴露與拜香

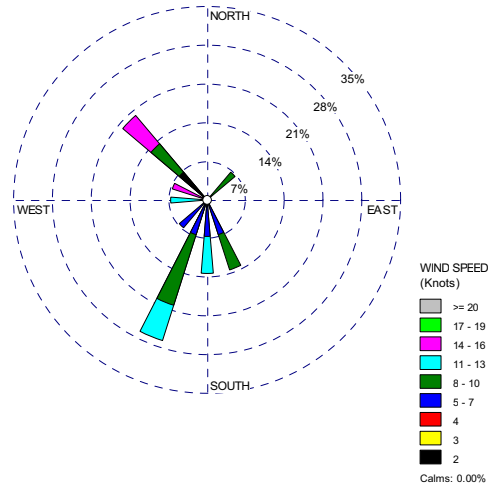
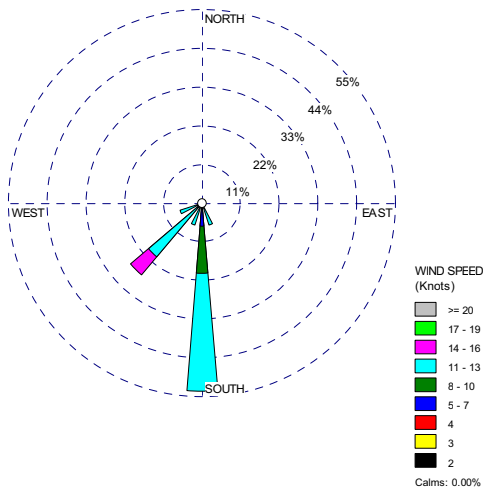


圖 1. 2005/3/22 之風花圖

圖 2. 2005/4/29 之風花圖

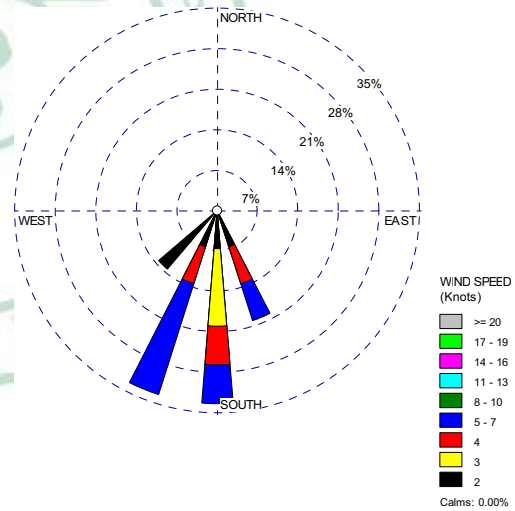
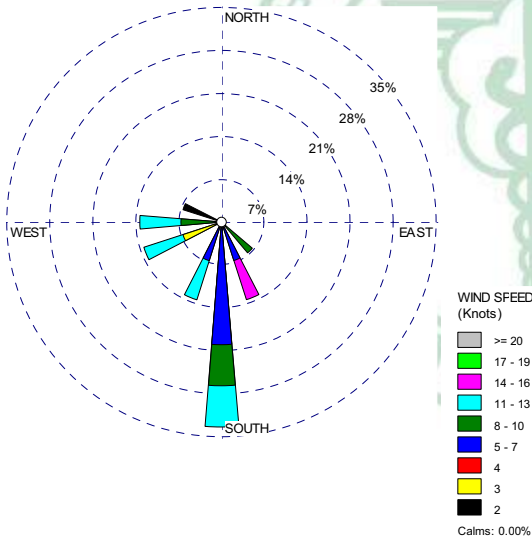


圖 3. 2005/5/31 之風花圖

圖 4. 2005/6/28 之風花圖

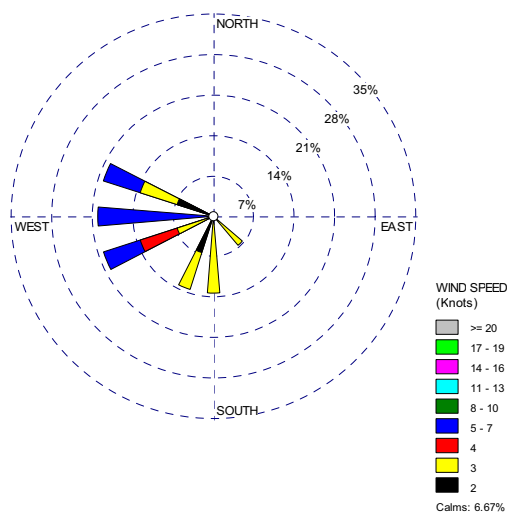


圖 5. 2005/7/28 之風花圖

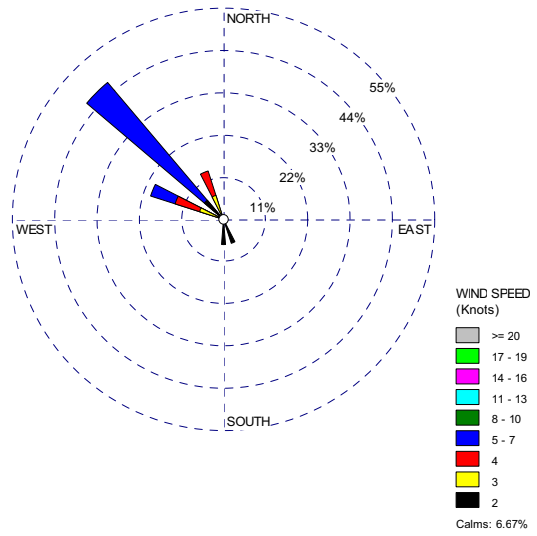


圖 6. 2005/8/30 之風花圖

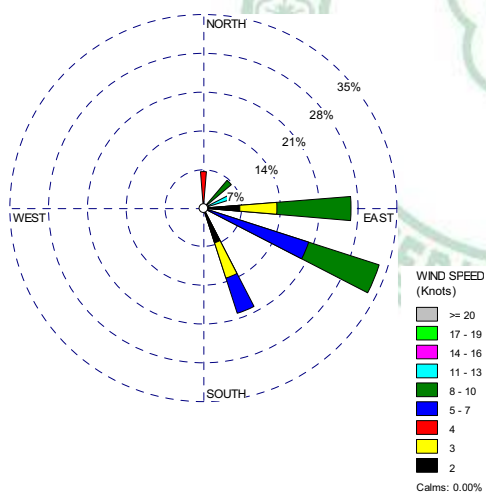


圖 7. 2005/9/30 之風花圖

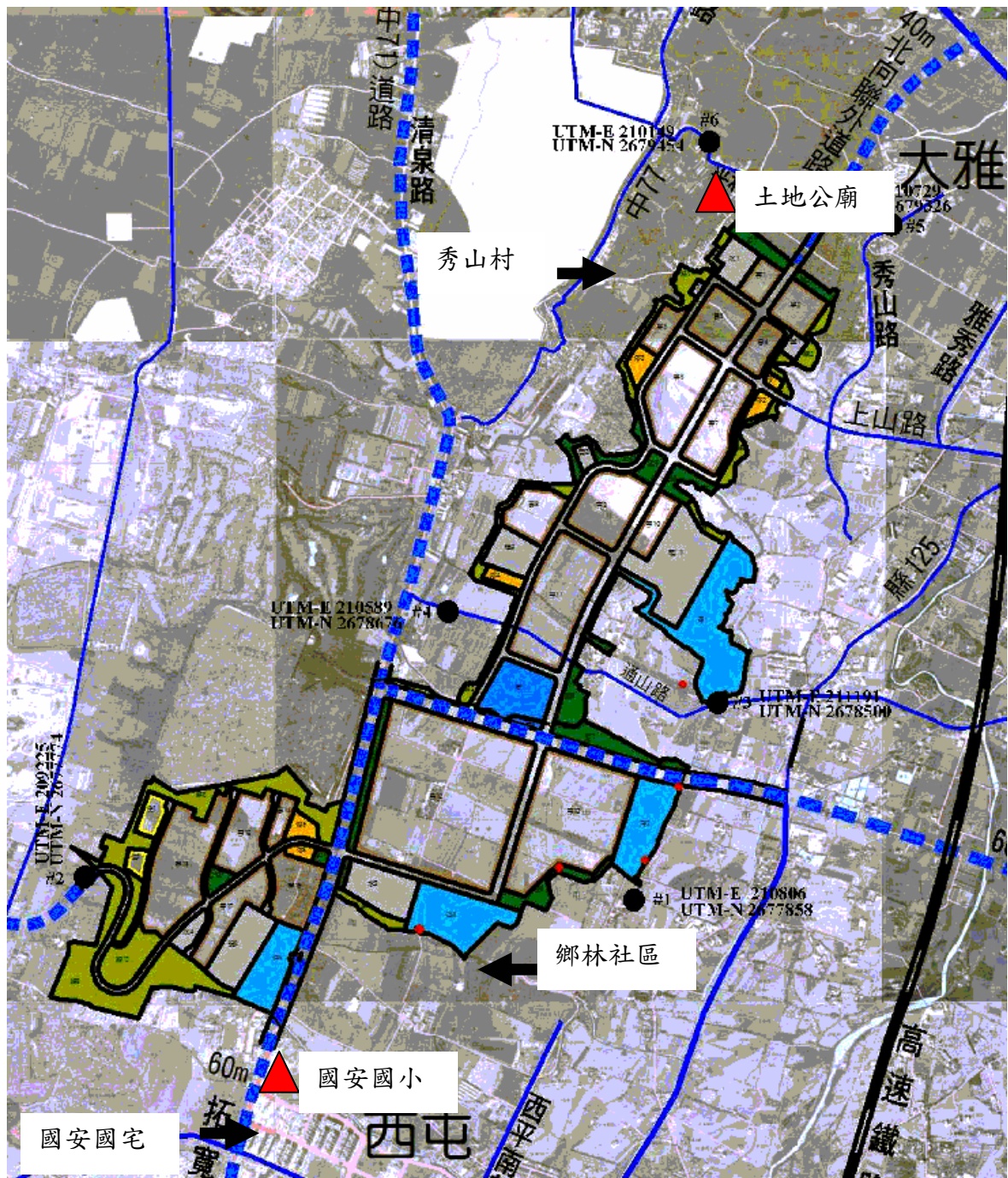


圖 8. 中科附近採樣點相關位置圖

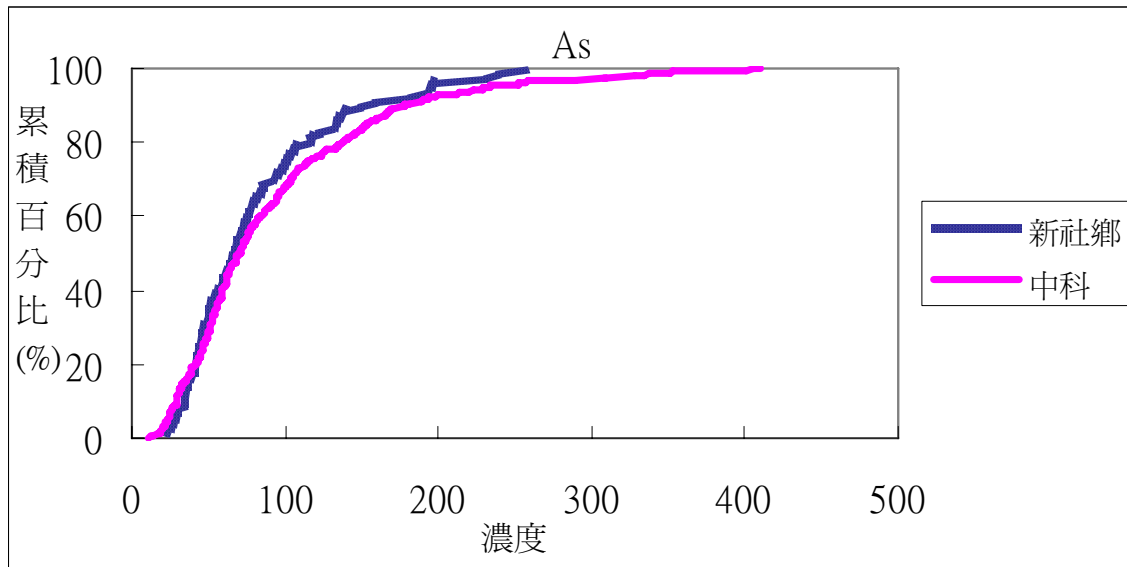


圖 9. 中科與對照組居民尿中砷濃度($\mu\text{g/g cre}$)之累積分佈圖

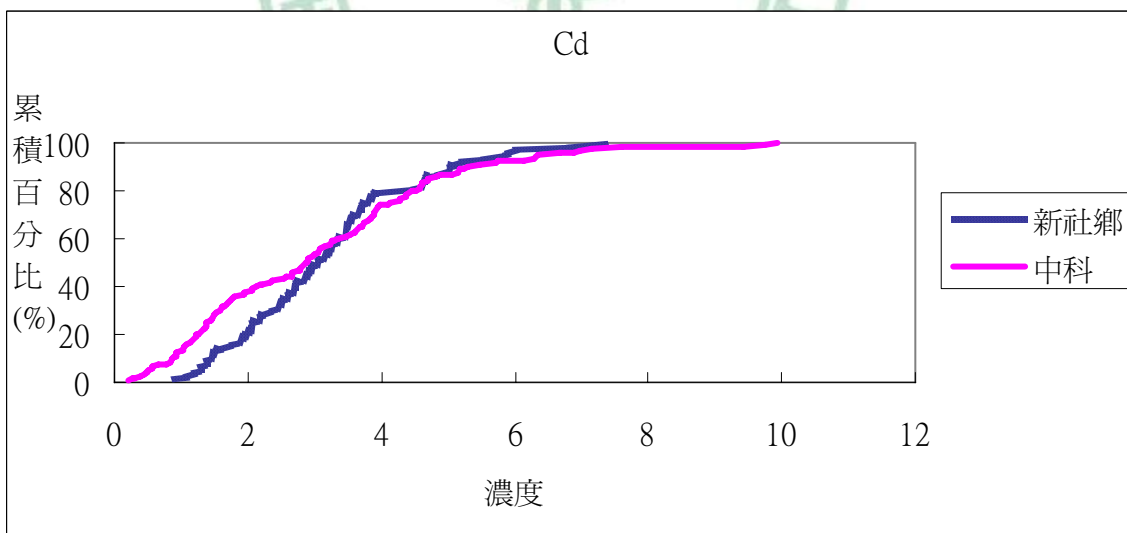


圖 10. 中科與對照組居民尿中鎘濃度($\mu\text{g/g cre}$)之累積分佈圖

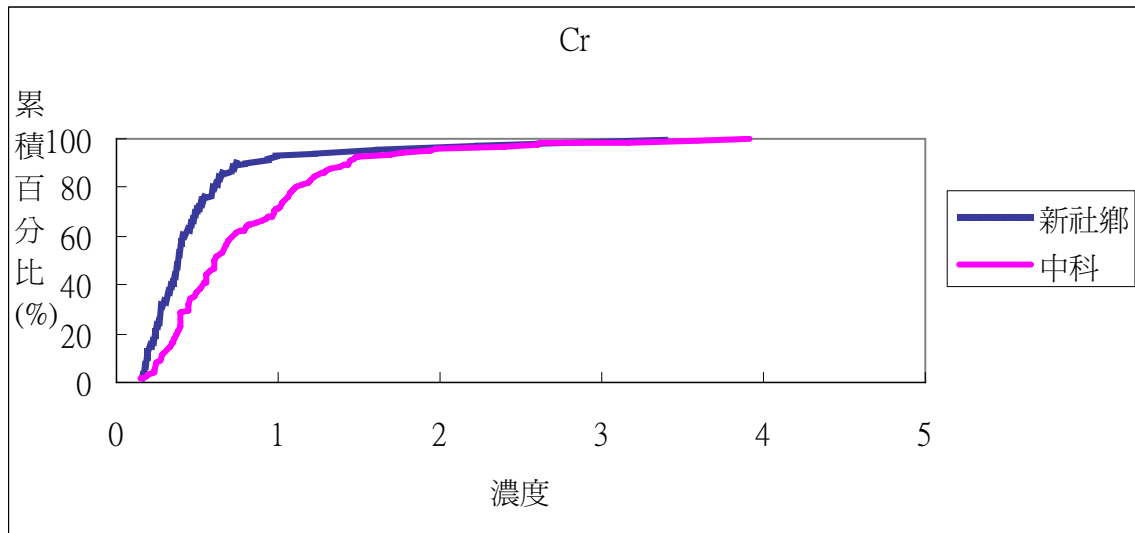


圖 11. 中科與對照組居民尿中鉻濃度($\mu\text{g/g cre}$)之累積分佈圖

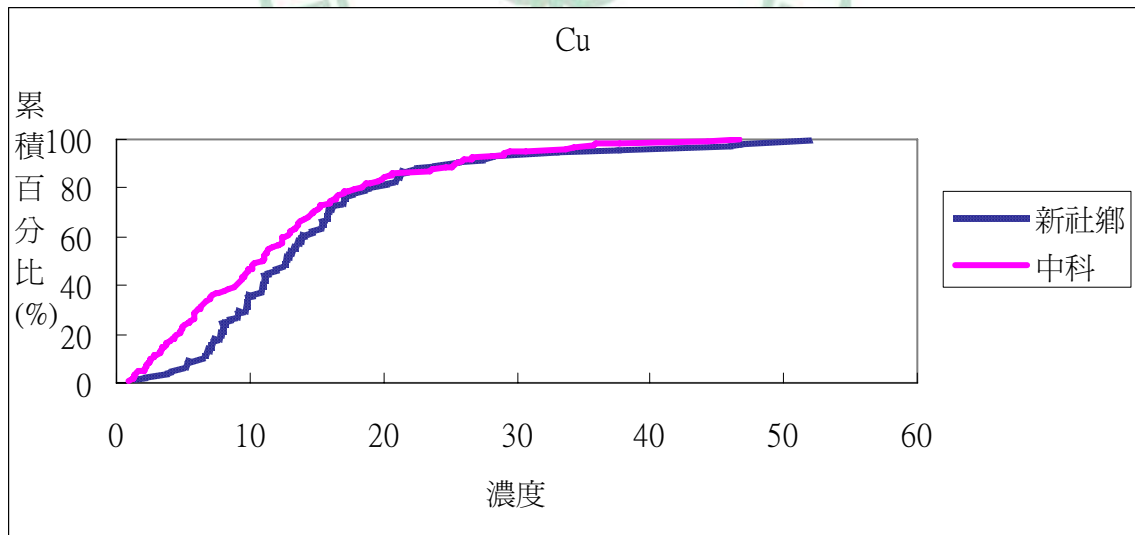


圖 12. 中科與對照組居民尿中銅濃度($\mu\text{g/g cre}$)之累積分佈圖

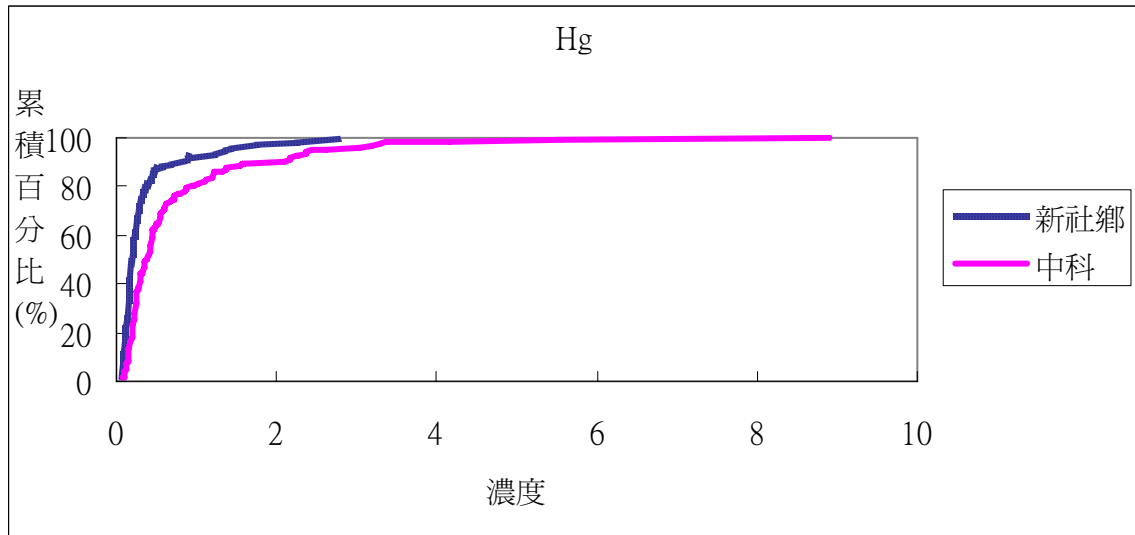


圖 13. 中科與對照組居民尿中汞濃度($\mu\text{g/g cre}$)之累積分佈圖

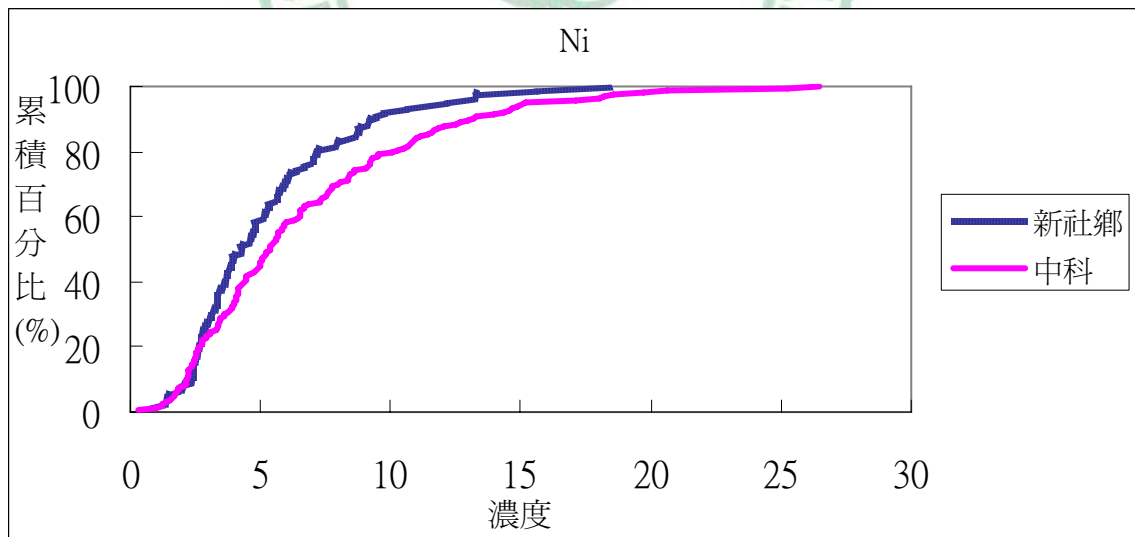


圖 14. 中科與對照組居民尿中鎳濃度($\mu\text{g/g cre}$)之累積分佈圖

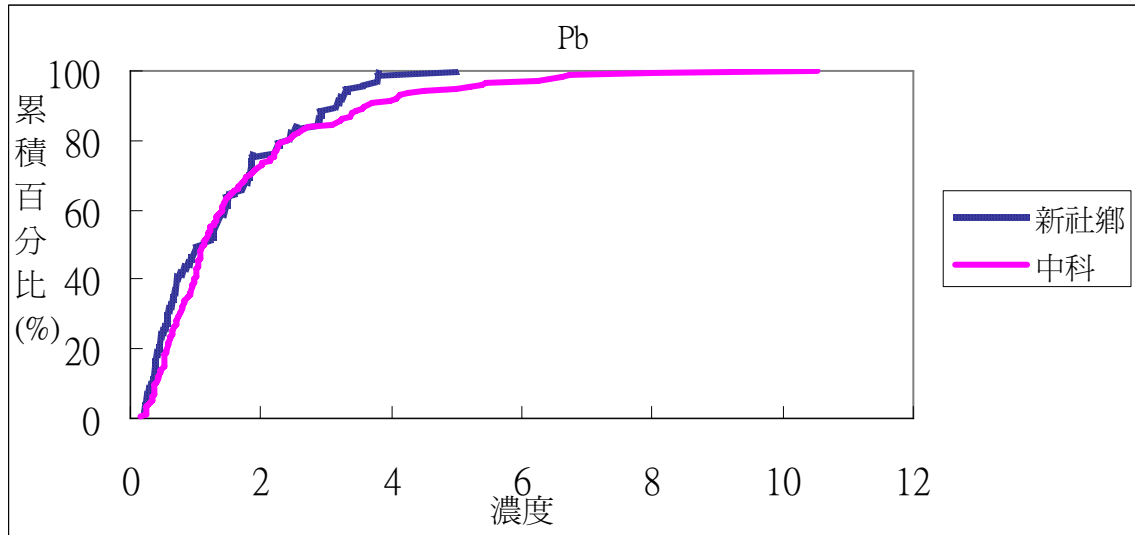


圖 15. 中科與對照組居民尿中鉛濃度($\mu\text{g/g cre}$)之累積分佈圖

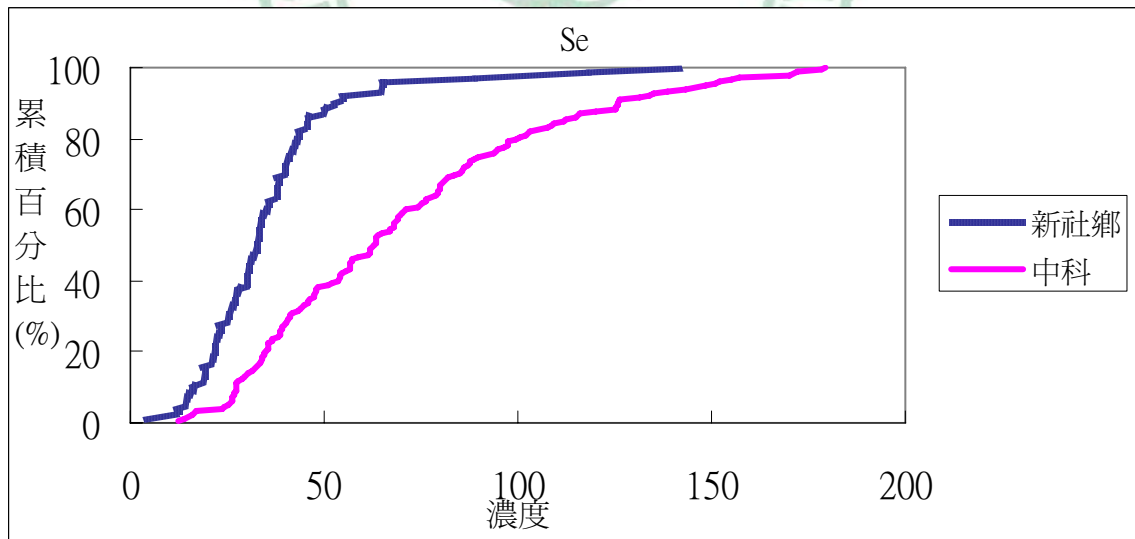


圖 16. 中科與對照組居民尿中硒濃度($\mu\text{g/g cre}$)之累積分佈圖

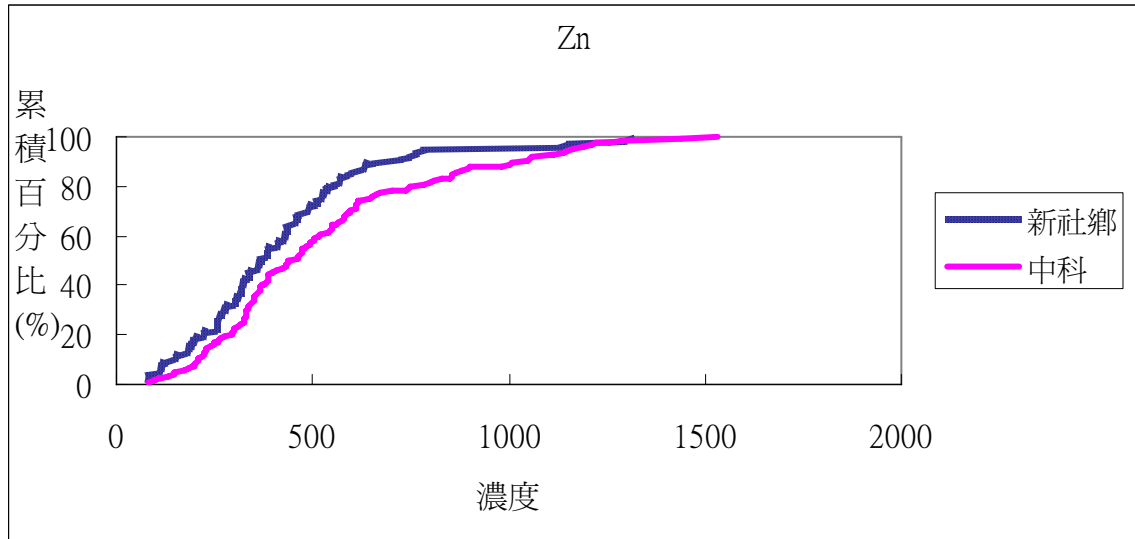


圖 17. 中科與對照組居民尿中鋅濃度($\mu\text{g/g cre}$)之累積分佈圖

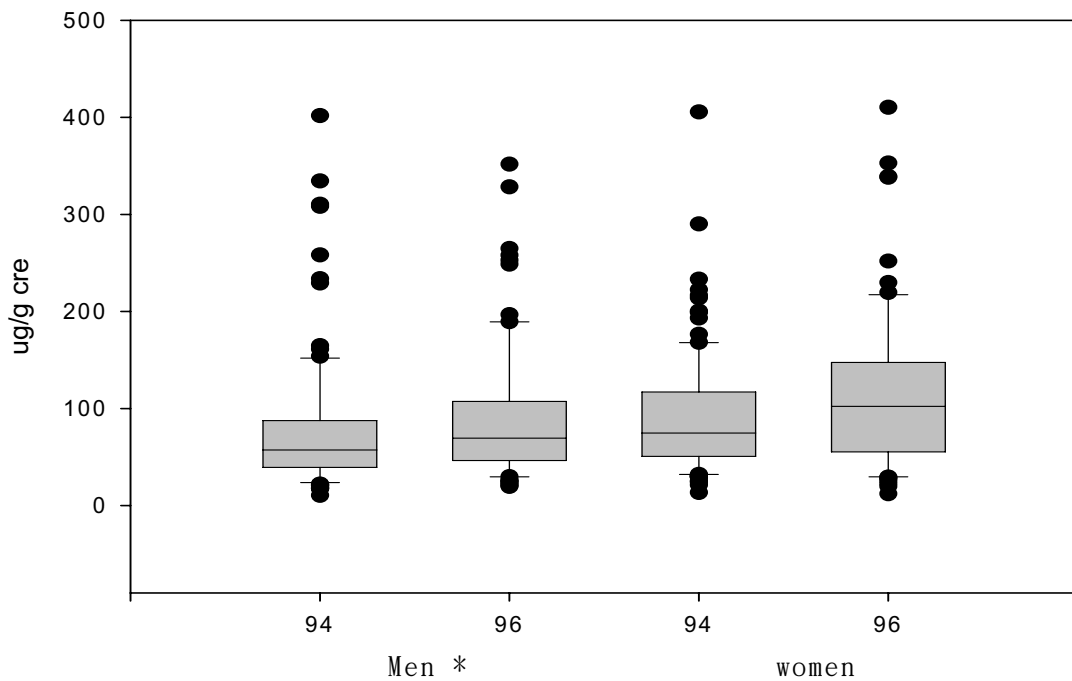


圖 18. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中砷濃度之差異
* $p < 0.05$

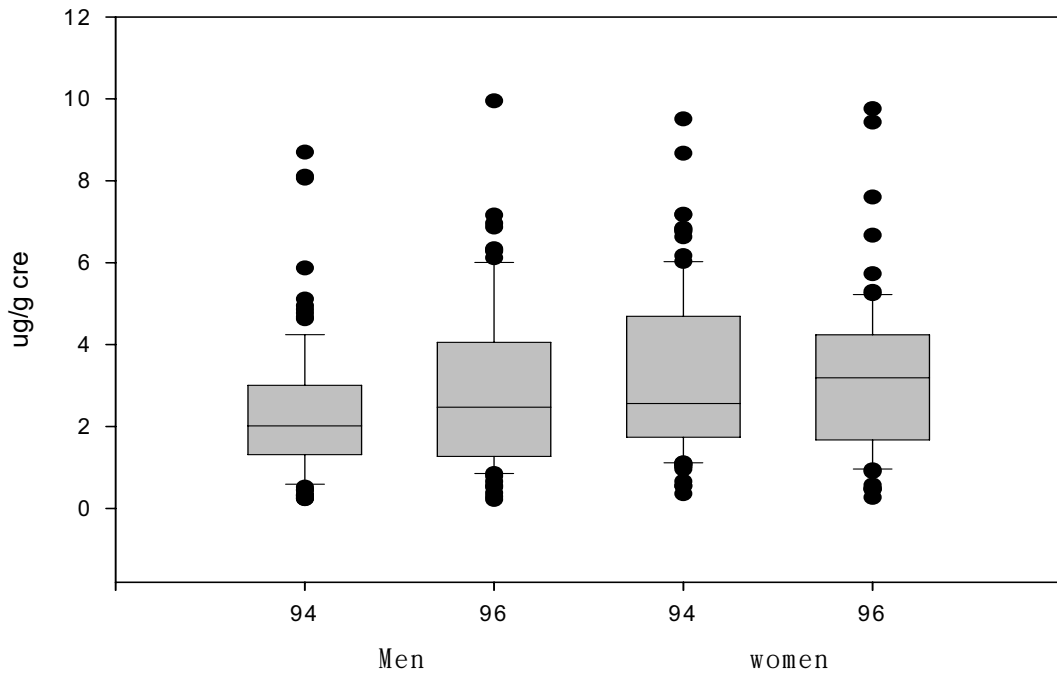


圖 19. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中鉛濃度之差異

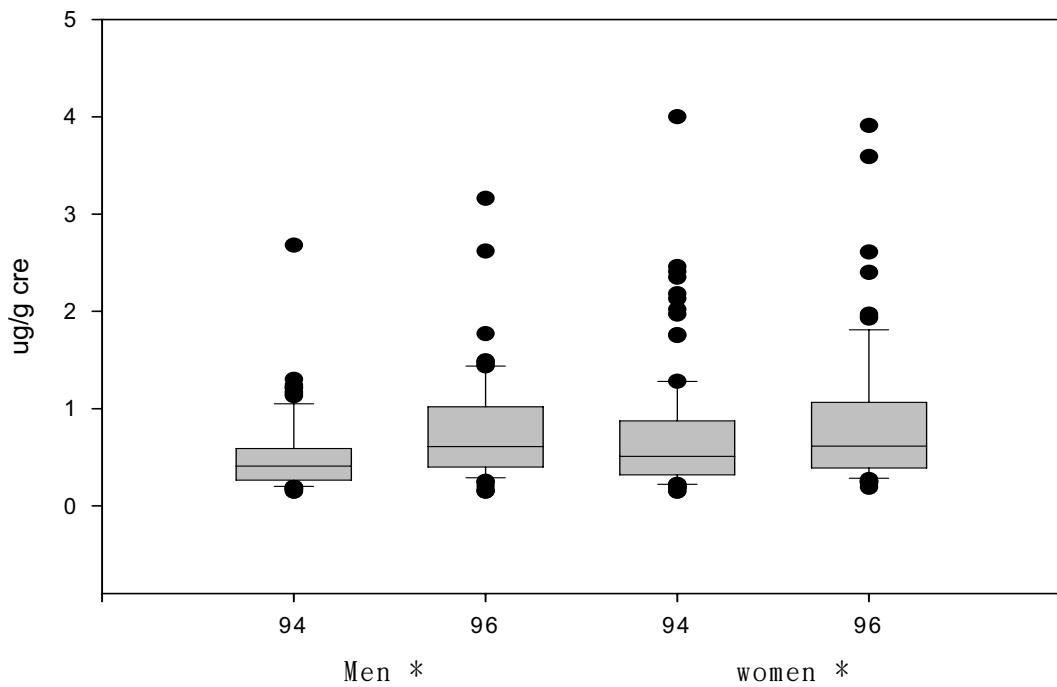


圖 20. 比較 94 與 96 年中科居民男女別尿中鉻濃度之差異
* $p < 0.05$

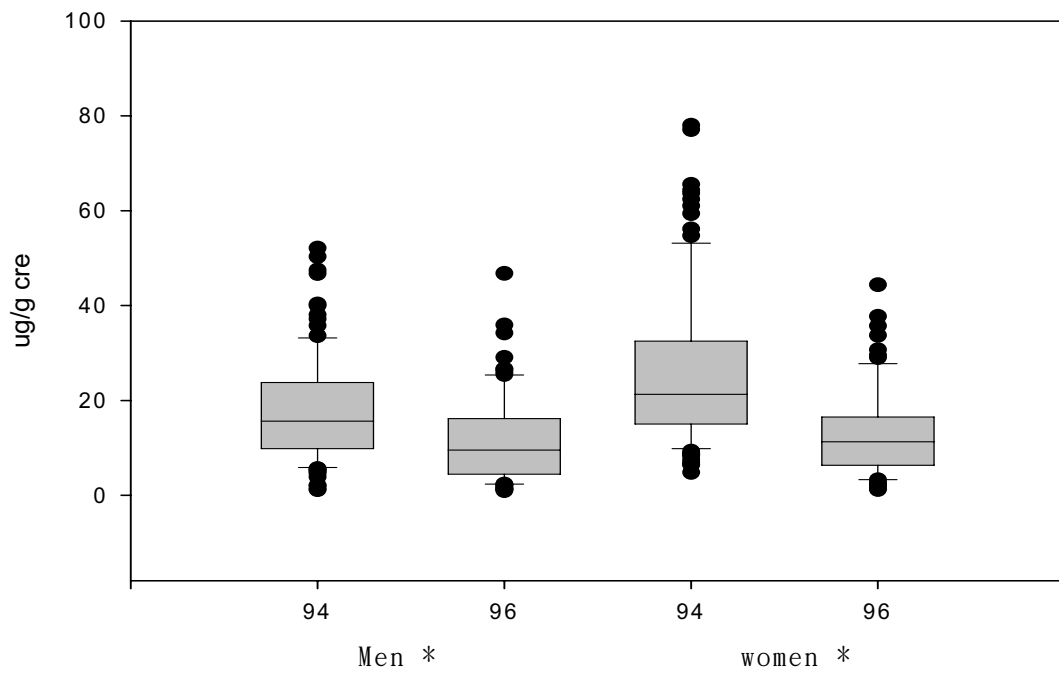


圖 21. 94 與 96 年中科居民男女別尿中銅濃度之差異
* $p < 0.05$

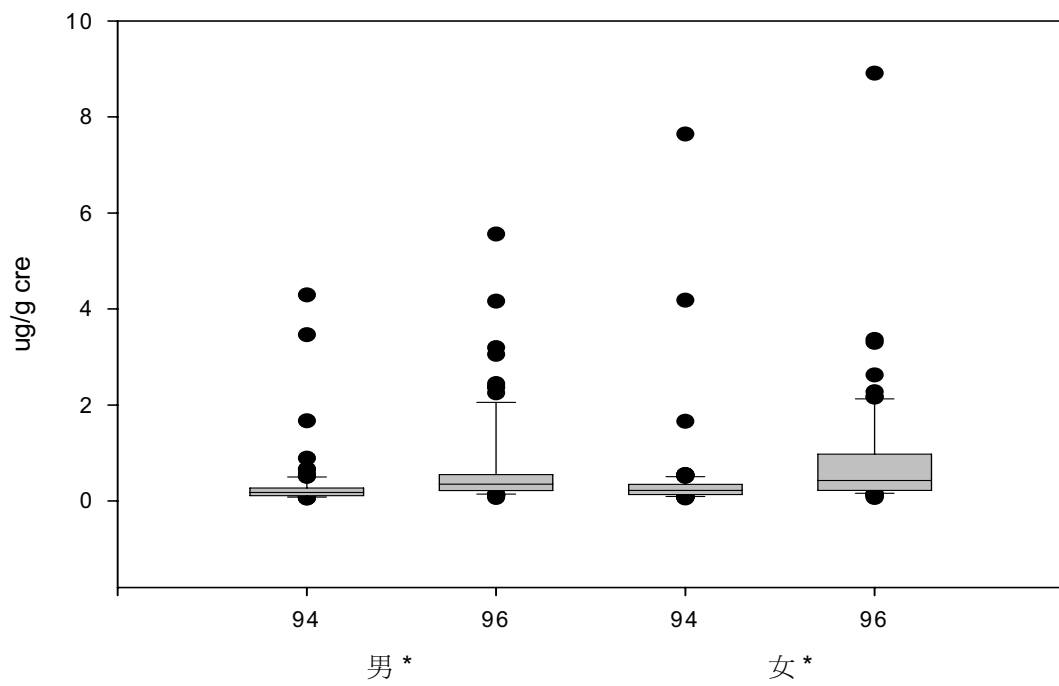


圖 22. 94 與 96 年中科居民男女別尿中汞濃度之差異
* $p < 0.05$

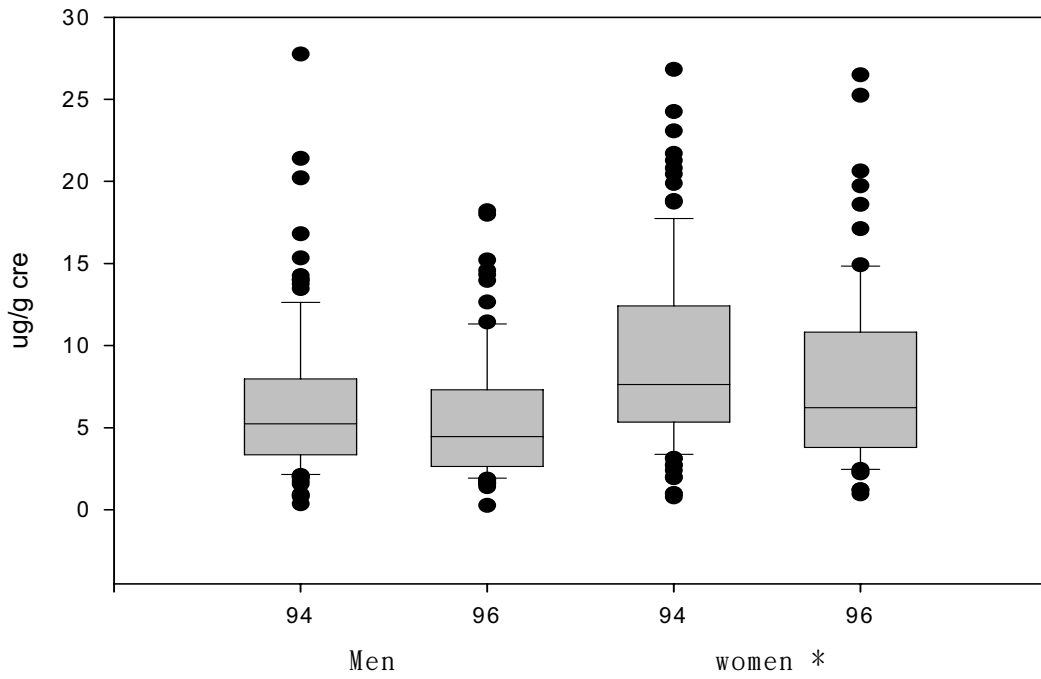


圖 23. 94 與 96 年中科居民男女別尿中鎳濃度之差異
* $p < 0.05$

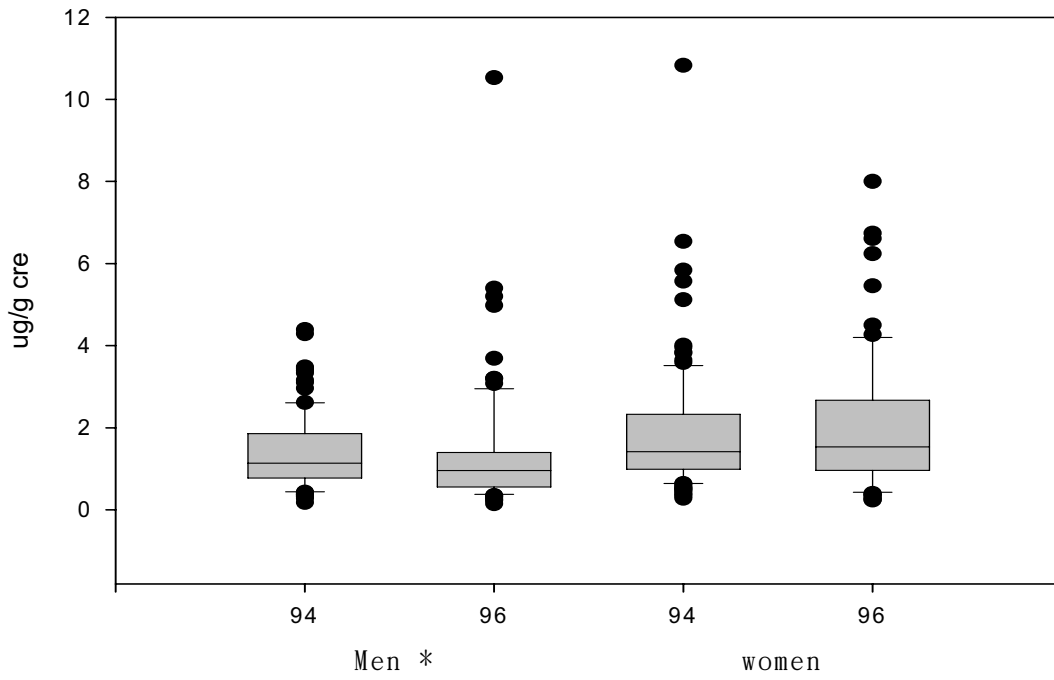


圖 24. 94 與 96 年中科居民男女別尿中鉛濃度之差異
* $p < 0.05$

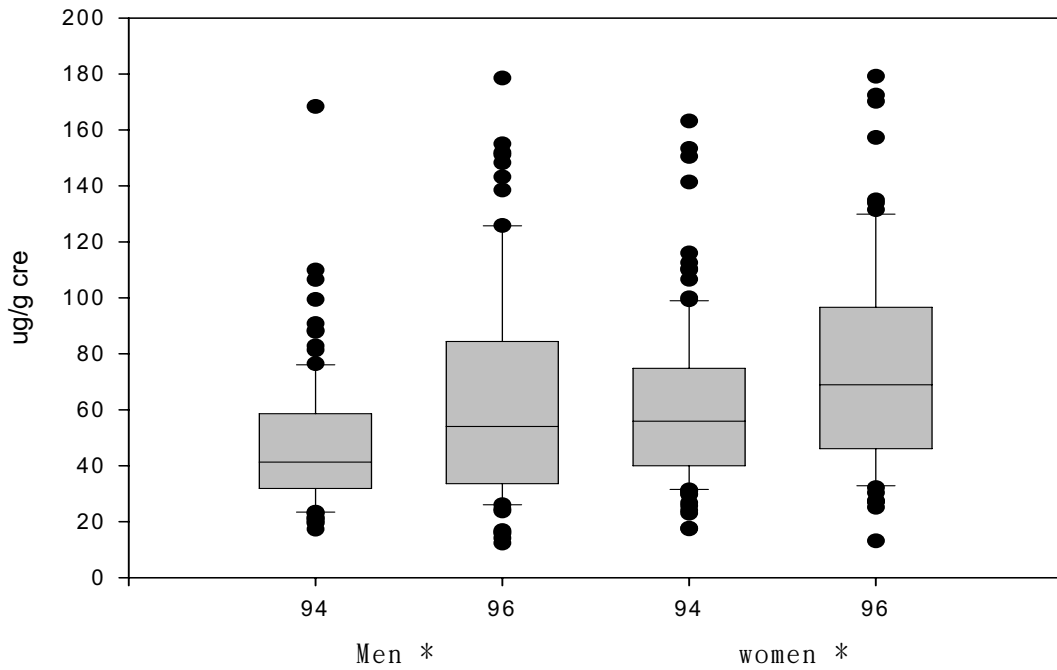


圖 25. 94 與 96 年中科居民男女別尿中硒濃度之差異
* $p < 0.05$

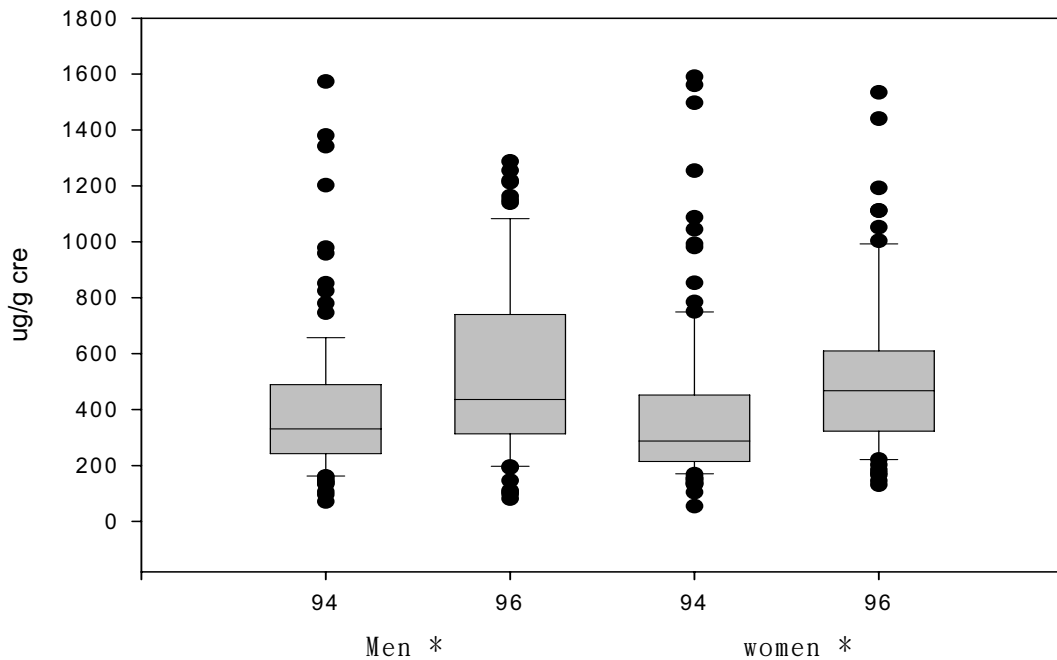


圖 26. 94 與 96 年中科居民男女別尿中鋅濃度之差異
* $p < 0.05$

附錄

附錄1. ICP-MS儀器條件

ICP parameters

RF power (W)	1430
Plasma gas flow	17
Auxiliary flow	1.3
Nebulizer flow (L/min)	0.97
Nebulizer	Meinhard

DRC parameters

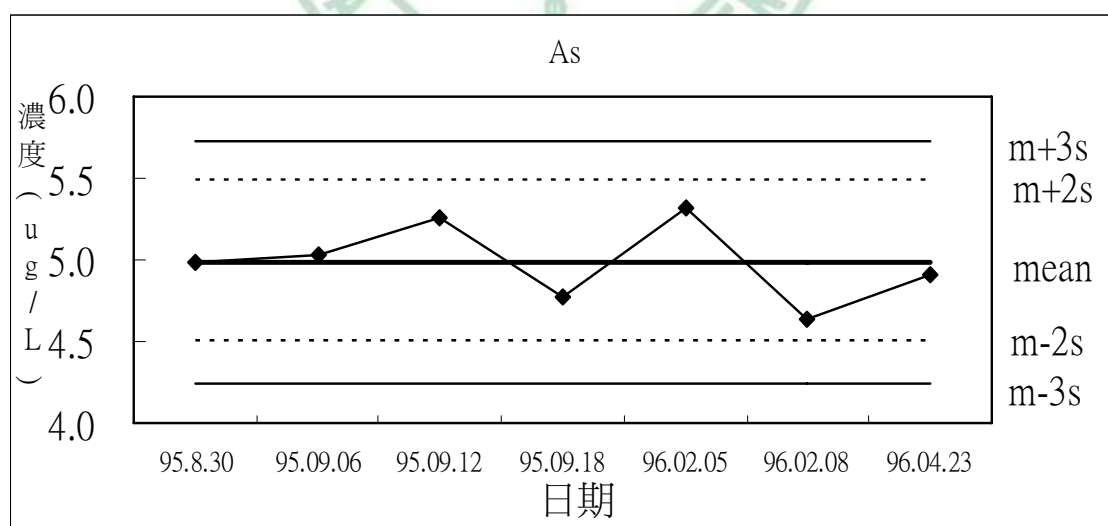
NH ₃ flow rate (mL/min)	0.6
Quadrupole rod offset (V)	-5.5
Cell path voltage (V)	-19
Cell rod offset (V)	-7
Rejection parameter a	0
Rejection parameter q	0.25
Autolens	On

Mass spectrometer settings

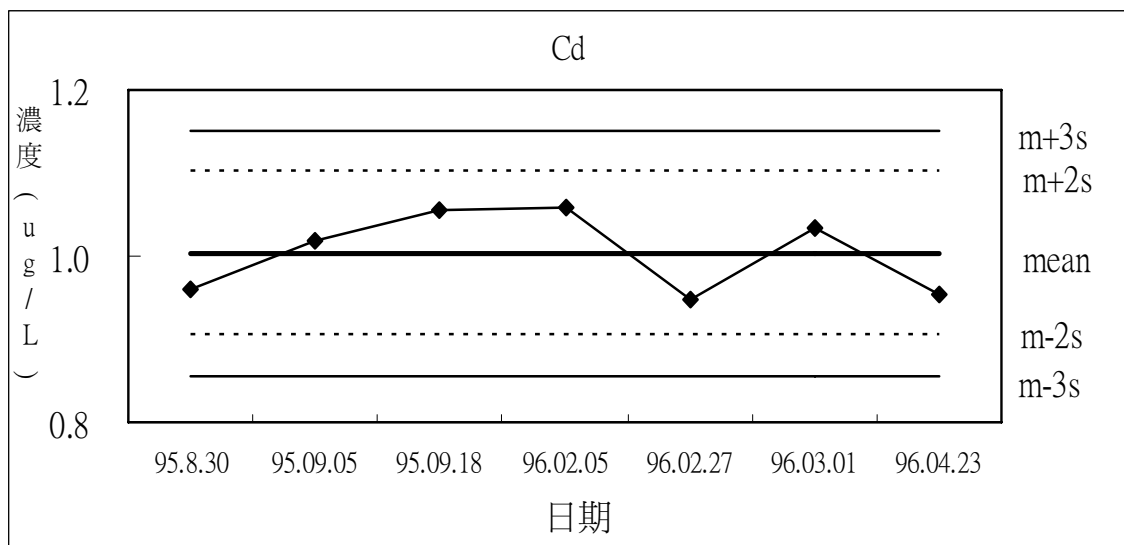
Dwell time (ms)	50
Sweeps	20
Readings	1
Replicates	3

附錄2. 尿液分析之檢量線與偵測極限結果

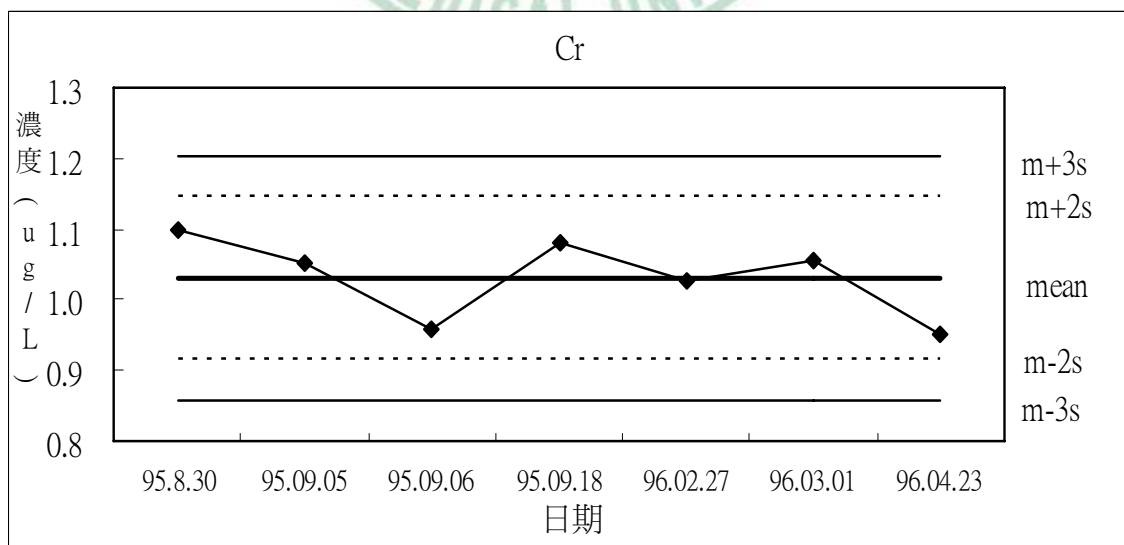
Element	Concentration range ($\mu\text{g/L}$)	r^2	IDL ($\mu\text{g/L}$)	MDL ($\mu\text{g/L}$)
As	1~50	0.9993	0.05	0.23
Cd	0.2~10	0.9991	0.03	0.04
Cr	0.2~10	0.9985	0.02	0.05
Cu	1~50	0.9986	0.16	0.17
Hg	0.2~10	0.9994	0.03	0.04
Ni	0.2~10	0.9998	0.03	0.07
Pb	0.2~10	0.9993	0.02	0.08
Se	1~50	0.9981	0.29	0.3
Zn	4~200	0.9982	0.48	2.53



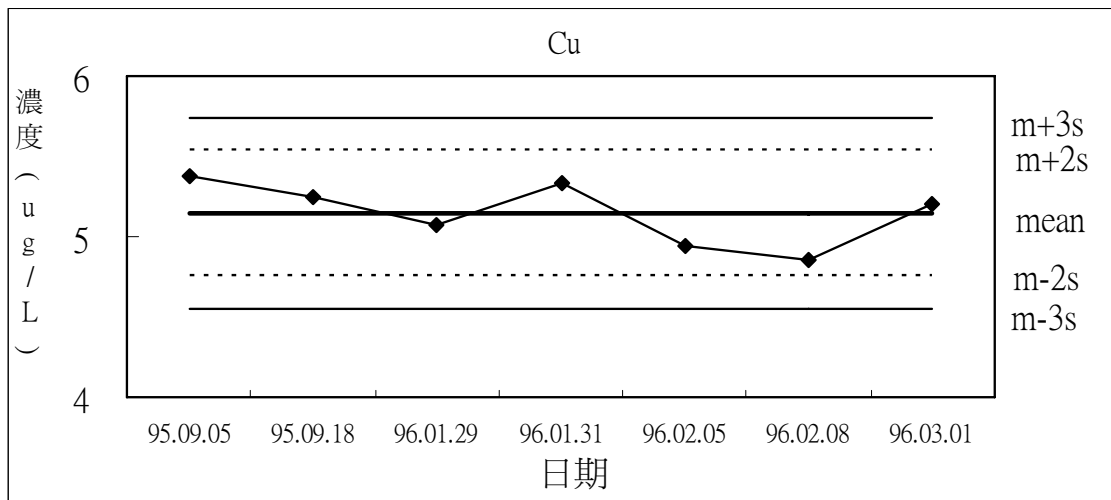
附錄3. 砷之檢量線確認品管圖



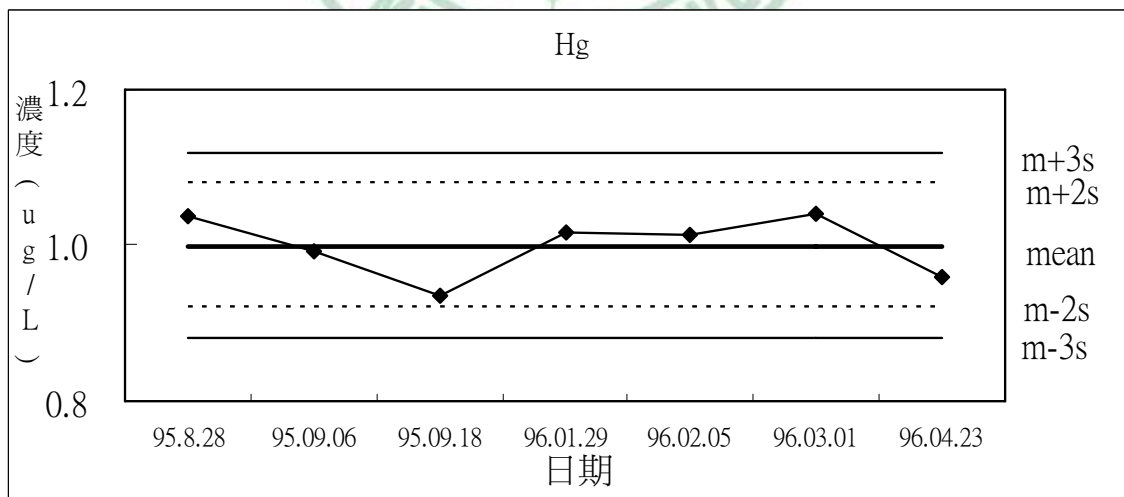
附錄 4. 鎘之檢量線確認品管圖



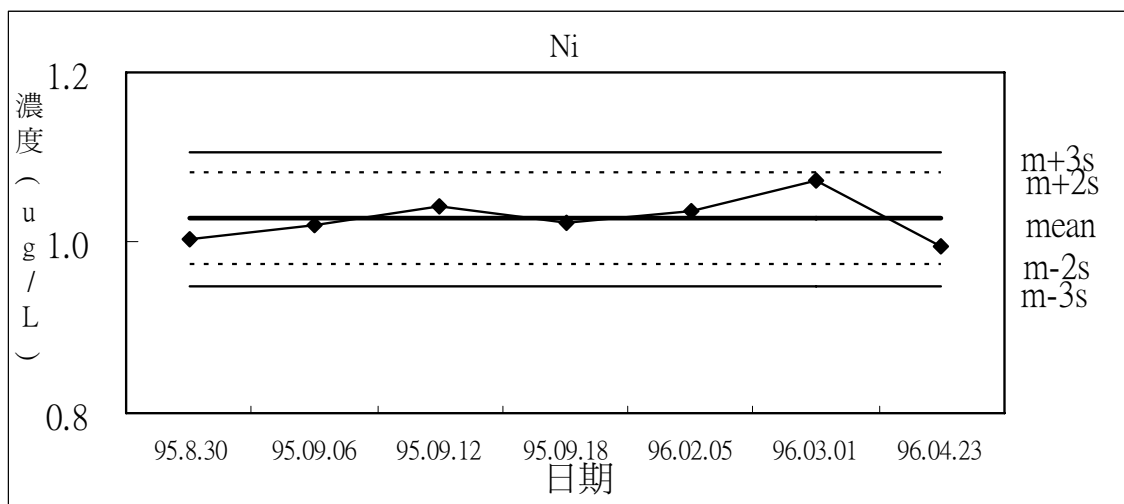
附錄 5. 鉻之檢量線確認品管圖



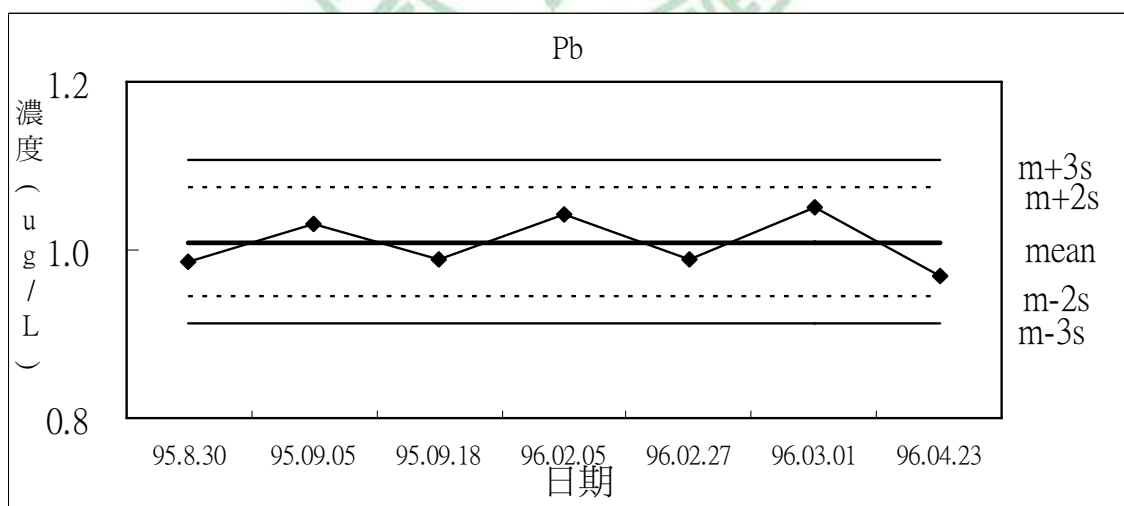
附錄 6. 銅之檢量線確認品管圖



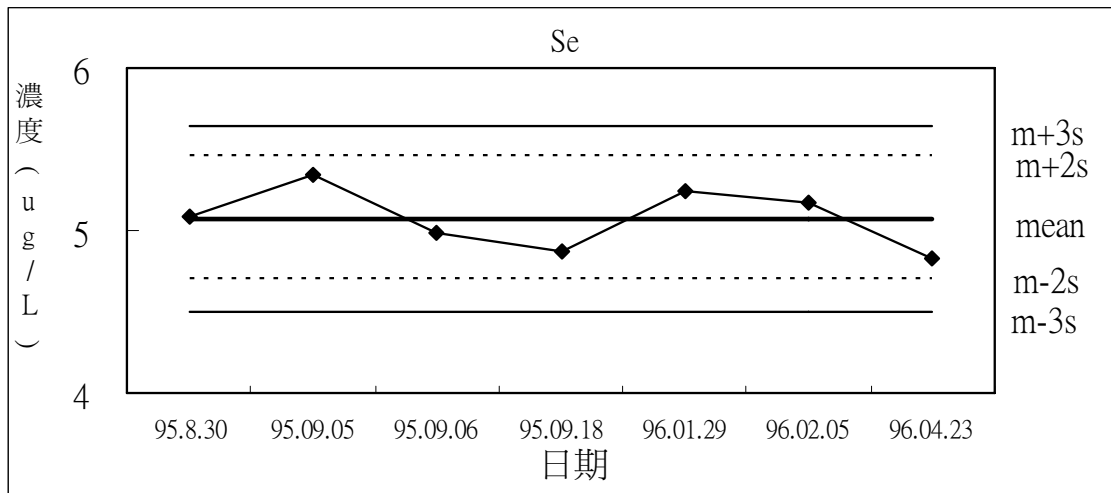
附錄 7. 汞之檢量線確認品管圖



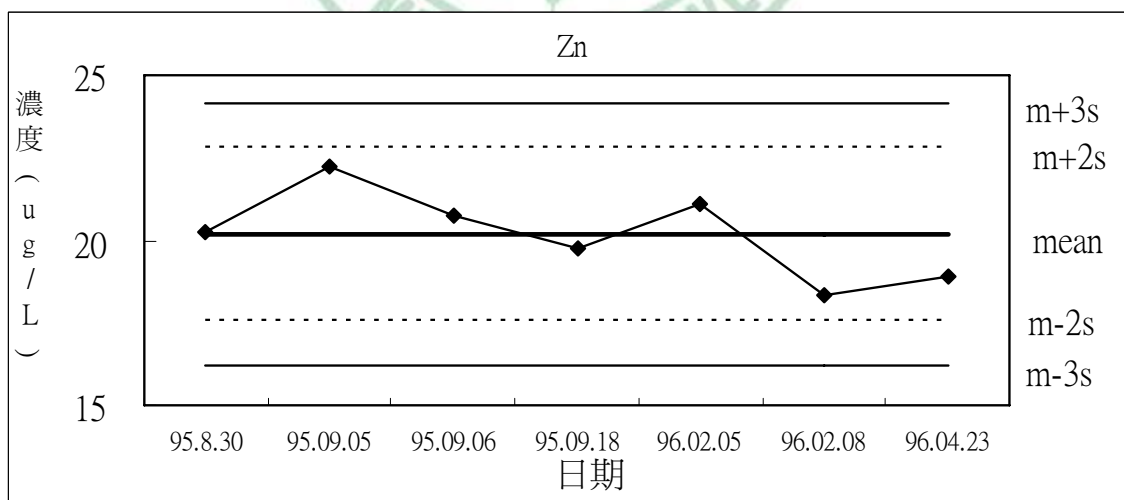
附錄 8. 鎳之檢量線確認品管圖



附錄 9. 鉛之檢量線確認品管圖



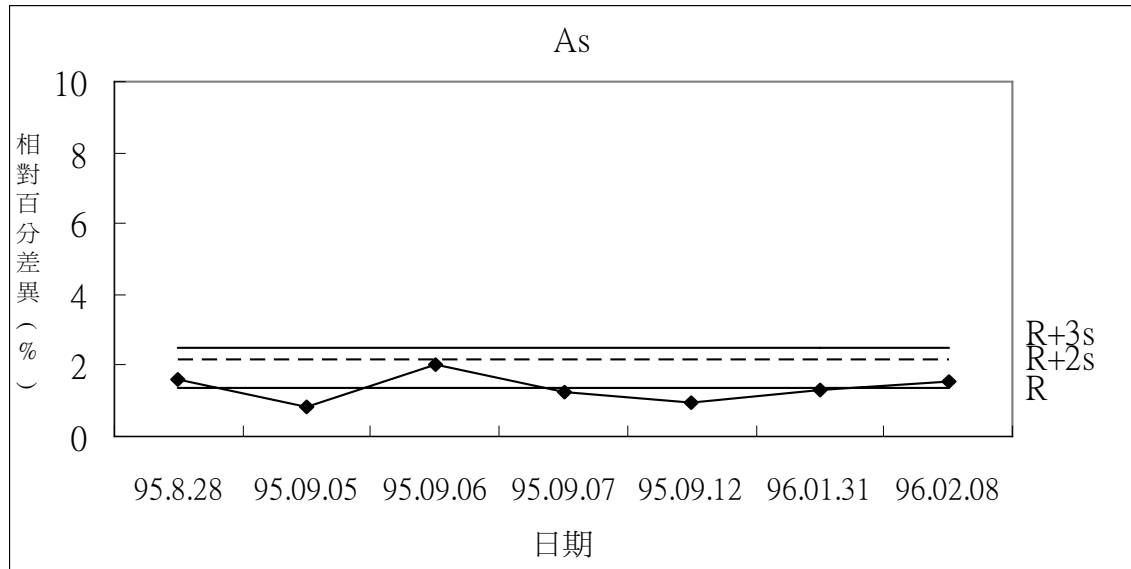
附錄 10. 硒之檢量線確認品管圖



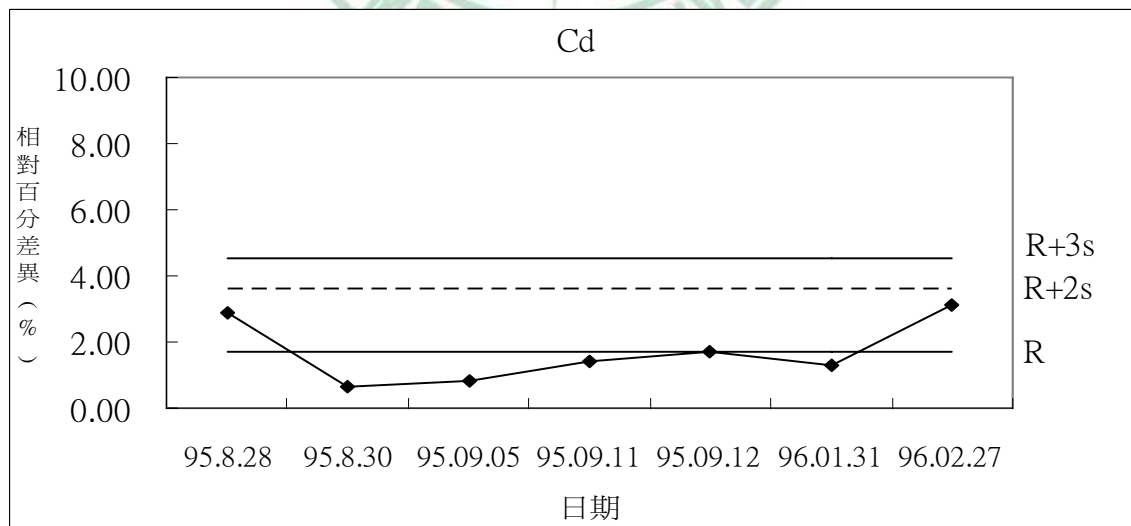
附錄 11. 鋅之檢量線確認品管圖

附錄 12. 尿液分析之穩定度確認 (n=7)

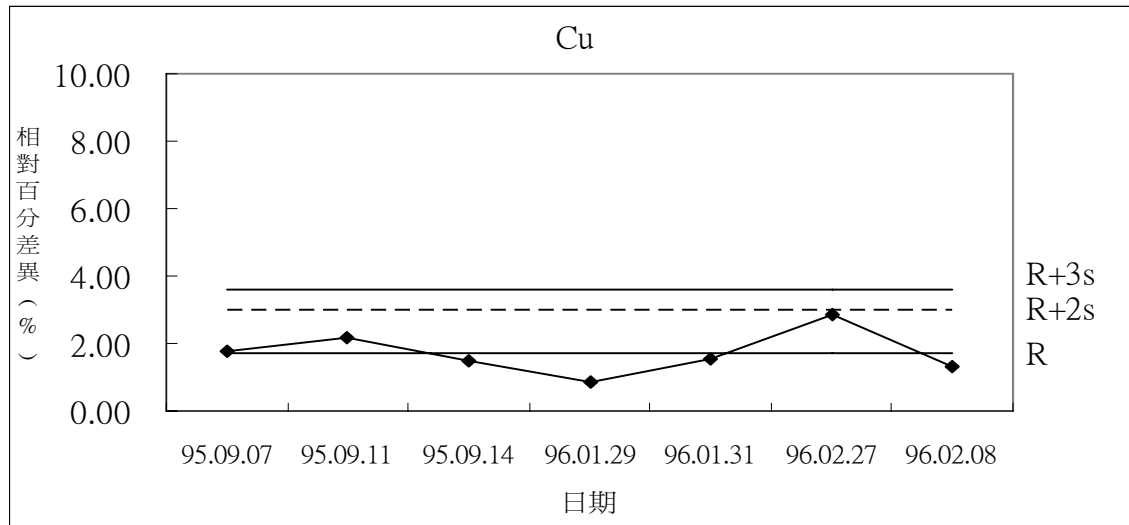
Element	批次內			批次間		
	Conc. ($\mu\text{g/L}$)	Mean	CV (%)	Conc. ($\mu\text{g/L}$)	Mean	CV (%)
As	5	4.94	3	5	4.99	5
Cd	1	0.90	3	1	1.00	11
Cr	1	0.97	4	1	1.03	11
Cu	5	4.97	2	5	5.08	10
Hg	1	0.93	5	1	1.00	8
Ni	1	0.96	2	1	1.03	6
Pb	1	0.93	5	1	1.01	8
Se	5	4.95	4	5	5.03	8
Zn	20	20.12	1	20	20.19	8



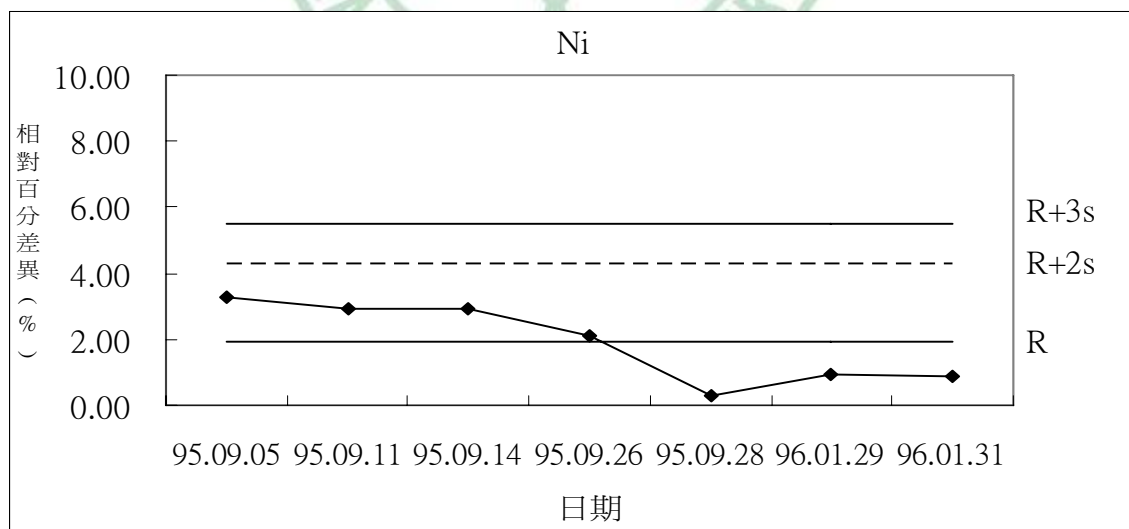
附錄 13. 砷之二重覆品管圖



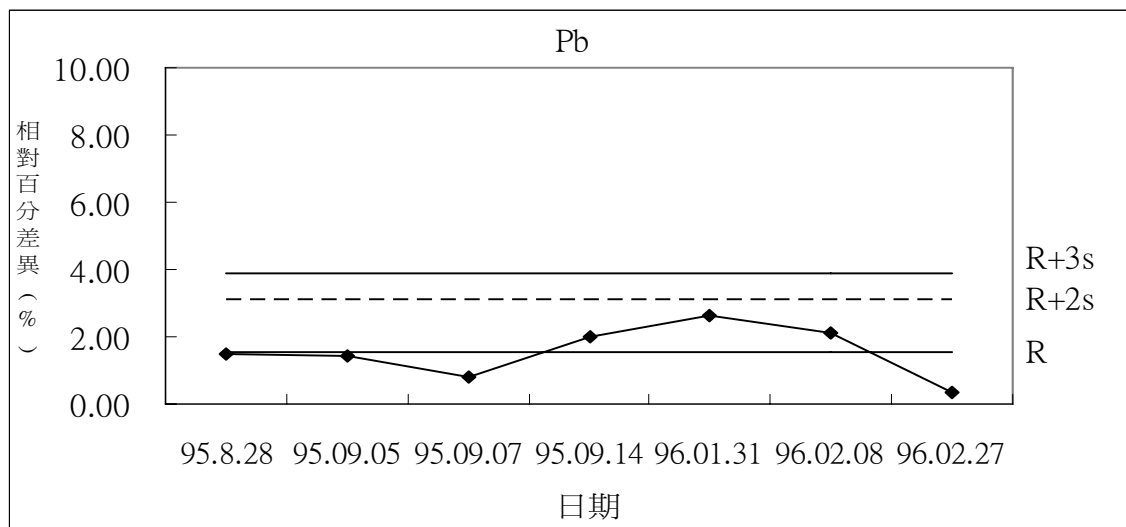
附錄 14. 鎘之二重覆品管圖



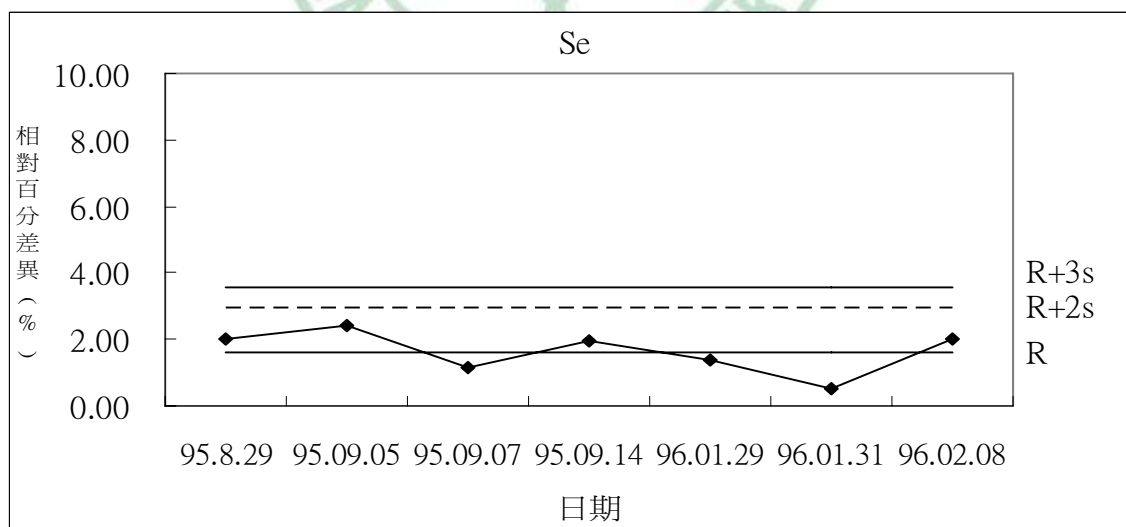
附錄 15. 銅之二重覆品管圖



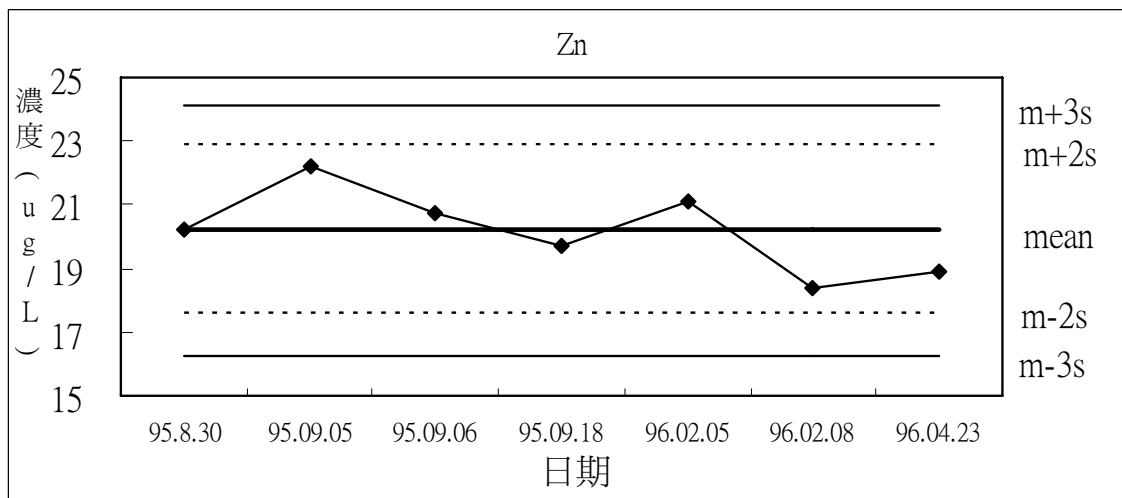
附錄 16. 鎳之二重覆品管圖



附錄 17. 鉛之二重覆品管圖



附錄 18. 硒之二重覆品管圖



附錄 19. 鋅之二重覆品管圖

附錄 20. 尿液查核樣品分析結果 (N=3)

	Reference ($\mu\text{g/L}$)	Observation ($\mu\text{g/L}$)	SRM recovery (%)
As	184	182.16	99 \pm 0.03
Cd	5.06	4.85	96 \pm 0.02
Cr	20.1	13.8	69 \pm 0.02
Cu	16.1	14.7	91 \pm 0.05
Hg	40.3	41.7	103 \pm 0.02
Ni	41.5	36.4	88 \pm 0.07
Pb	91.1	69.99	77 \pm 0.04
Se	66.9	77.4	116 \pm 0.06
Zn	261	252.39	97 \pm 0.55

附錄 21. 尿液添加樣品分析結果(N=3)

Element	Spike ($\mu\text{g/L}$)	Spike recovery (%)
As	5	98 \pm 0.04
Cd	1	96 \pm 0.03
Cr	1	100 \pm 0.03
Cu	5	106 \pm 0.14
Hg	1	104 \pm 0.15
Ni	1	98 \pm 0.06
Pb	1	93 \pm 0.05
Se	5	104 \pm 0.13
Zn	20	102 \pm 0.06

